

制药工业大气污染防治技术规范

Technical specifications of air pollution prevention and control for pharmaceutical industry

(点击此处添加与国际标准一致性程度的标识)

(征求意见稿)

(本草案完成时间: 2025.8.1)

**** - ** - **发布

**** - ** - *1 实施

目 次

前言	II
引言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	3
4 总体要求	6
5 污染预防技术	8
6 污染治理技术选择	13
7 典型治理技术工艺设计要求	18
8 环境管理措施	24
附录 A（资料性） 常见医药中间体品种	26
附录 B（资料性） 溶剂选择的导则	27
附录 C（资料性） 综合效益评价技术方法	32
附录 D（资料性） 综合效益评价因子的参数值	36
参考文献	43

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由上海市生态环境局、江苏省生态环境厅、浙江省生态环境厅、安徽省生态环境厅联合提出、归口并组织实施。

本文件起草单位：华东理工大学、浙江省生态环境科学设计研究院、江苏省环境科学研究院、安徽省生态环境科学研究院、上海市环境科学研究院、上海市环境监测中心、浙江环境科技股份有限公司、台州市环境科学设计研究院有限公司、上海市金山区环境监测站。

本文件主要起草人：修光利、徐志荣、林明月、夏思佳、张红、张钢锋、宋钊、赵梦飞、顾红明、陆景鹏、何校初、王浙明、赵秋月、张雷、郭昊、侯松涛、鞠学东、姚轶、裴冰、汪水兵、朱森、洪星园、陈亮峰、徐茏、林星

引 言

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国大气污染防治法》《上海市大气污染防治条例》，防治环境污染，改善环境质量，保障人体健康，引导加强制药工业大气污染物排放的科学治理，促进行业生产工艺和污染治理技术进步，指导企业满足长三角一体化制药工业大气污染物排放标准的要求，制定本文件。

本文件提出了制药工业大气污染防治技术规范。

本文件由上海市人民政府、江苏省人民政府、浙江省人民政府、安徽省人民政府批准。

制药工业大气污染防治技术规范

1 范围

本文件规定了制药工业大气污染防治技术的总体要求、污染预防技术、污染治理技术选择、典型治理技术工艺设计要求、环境管理措施。

本文件可作为制药工业企业或生产设施建设项目环境影响评价、地方污染物排放标准制修订、排污许可管理和污染防治技术选择的参考。

本文件适用于GB/T 4754-2017中规定的医药制造业（C27）中的化学药品原料药制造（C271）、化学药品制剂制造（C272）、中药饮片加工（C273）、中成药生产（C274）、兽用药品制造（C275）、生物药品制品制造（C276）。

本文件也适用于供药物生产的医药中间体企业及其生产设施、药物研发机构及其实验设施的大气污染治理技术的选择。GB/T 4754-2017中规定的医药制造业（C27）中的卫生材料及医药用品制造（C277）和药用辅料及包装材料（C278）也可以参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 3003 耐火纤维及制品
- GB/T 3077 合金结构钢
- GB/T 3274 碳素结构钢和低合金结构钢 热轧钢板和钢带
- GB/T 4754-2017 国民经济行业分类
- GB 5083 生产设备安全卫生设计总则
- GB/T 6165 高效空气过滤器性能试验方法 效率和阻力
- GB/T 7701.1 煤质颗粒活性炭 气相用煤质颗粒活性炭
- GB/T 12801 生产过程安全卫生要求总则
- GB/T 13869 用电安全导则
- GB/T 13554-2020 高效空气过滤器
- GB/T 15577 粉尘防爆安全规程
- GB/T 15605 粉尘爆炸泄压指南
- GB/T 16157 固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法
- GB/T 16400 绝热用硅酸铝棉及其制品
- GB/T 16578 排风罩的分类及技术条件
- GB 18597 危险废物贮存污染控制标准
- GB/T 19686 建筑用岩棉绝热制
- GB/T 19839 工业燃油燃气燃烧器通用技术条件
- GB 37822-2019 挥发性有机物无组织排放控制标准
- GB 37823-2019 制药工业大气污染物排放标准

GB 41918 生物安全柜
GB/T 42300 精细化工反应安全评估规范
GB 50057 建筑物防雷设计规范
GB/T 50087 工业企业噪声控制设计规范
HJ/T 55 大气污染物无组织排放监测技术导则
HJ 75 固定污染源烟气(SO₂、NO_x、颗粒物)排放连续监测技术规范
HJ/T 285 环境保护产品技术要求 工业粉尘湿式除尘装置
HJ/T 322 环境保护产品技术要求 电除尘器
HJ/T 323 环境保护产品技术要求 电除雾器
HJ/T 328 环境保护产品技术要求 脉冲喷吹类袋式除尘器
HJ/T 386 工业废气吸附净化装置
HJ/T 387 工业废气吸收净化装置
HJ/T 389 工业有机废气催化净化装置
HJ/T 397 固定源废气监测技术规范
HJ 1093 蓄热燃烧法工业有机废气治理工程技术规范
HJ 1286 固定污染源废气 非甲烷总烃连续监测技术规范
HJ 1403 固定污染源废气一氧化碳和氯化氢自动监测技术规范
HJ 2000 大气污染治理工程技术导则
HJ 2020 袋式除尘工程通用技术规范
HJ 2026 吸附法工业有机废气治理工程技术规范
HJ 2027 催化燃烧法工业有机废气治理工程技术规范
HJ 2028 电除尘工程通用技术规范
HJ 2529 环境保护产品技术要求 电袋复合除尘器
DB31/ 310005 制药工业大气污染物排放标准
DB31/T 310007 设备泄漏挥发性有机物排放控制技术规范
DB32/ 4042 制药工业大气污染物排放标准
DB32/T 4350 大气污染源工况用电在线监测技术规范
DB32/T 5030 工业有机废气治理用活性炭通用技术要求
DB32/T 310007 设备泄漏挥发性有机物排放控制技术规范
DB33/ 310005 制药工业大气污染物排放标准
DB33/T 310007 设备泄漏挥发性有机物排放控制技术规范
DB34/ 310005 制药工业大气污染物排放标准
DB34/T 310007 设备泄漏挥发性有机物排放控制技术规范
AQ 3009 危险场所电气防爆安全规范
AQ/T 4274 局部排风设施控制风速检测与评估技术规范
HG/T 3922 活性炭纤维毡
HG/T 20642 化学工业炉耐火陶瓷纤维炉衬设计技术规定
JB/T 6412 排风柜
JB/T 8471 袋式除尘器安装技术要求与验收规范
JB/T 8532 脉冲喷吹类袋式除尘器
JC/T 2135 蜂窝陶瓷蓄热体

JG/T 385 无风管自净型排风柜

JG/T 222 实验室变风量排风柜

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

制药工业 pharmaceutical industry

GB/T 4754-2017 中规定的医药制造业（C27）中的化学药品原料药制造（C271）、化学药品制剂制造（C272）、中药饮片加工（C273）、中成药生产（C274）、兽用药品制造（C275）、生物药品制品制造（C276）。

注：包括供药物生产的医药中间体制造、药物研发机构。

[来源：DB31/310005—2021，3.1，有修改]

3.2

化学药品原料药制造 production of active pharmaceutical ingredient of chemical drugs

通过化学合成、微生物发酵或天然动植物提取等手段制备具有药物活性成分的一种物质或物质的混合物的生产活动。

[来源：GB 37823—2019，3.2]

3.3

生物制药 biopharmaceutical manufacture

生物工程、发酵、提取等利用生物体或生物过程制造药物的生产过程。不包括利用生物过程制备的原料药进行进一步化学修饰的半合成类制药、利用微生物氧化由一非生物产品转化为另一非生物产品（如甾体激素）、中药及中成药生产和医疗器械生产。

3.4

发酵类制药 fermentation products category of pharmaceutical industry

通过微生物发酵的方法产生抗生素、维生素、氨基酸或其他活性成分，然后经过分离、纯化、精制等工序生产出化学药品原料的过程。

注：不包括细胞培养（扩增）、基因工程制药过程。

[来源：DB31/ 310005—2021，3.4]

3.5

化学合成类制药 chemical synthesis products category of pharmaceutical industry

采用一个化学反应或者一系列化学反应生产药物活性成分的过程。

[来源：DB31/ 310005—2021，3.5]

3.6

提取类制药 extraction products category of pharmaceutical industry

运用物理的、化学的、生物化学的方法，将生物体中起重要作用的各种基本物质经过提取、分离、纯化等手段制造药物的过程。

注1：不包括用化学合成、半合成等方法制得的生化基本物质的衍生物或类似物、菌体及其提取物、动物器官或组织

及小动物制剂类药物的生产过程。

注2：不包括中药制造的提取过程。

3.7

中药制造 production of traditional Chinese medicine

以药用植物、药用动物和药用矿物为原料，生产中药饮片、中药提取物或中成药各种剂型药物的生产活动。

注：包括GB/T 4754-2017中的中药饮片加工（C273）和中成药生产（C274）。

[来源：GB 37823—2019, 3.4, 有修改]

3.8

医药中间体 pharmaceutical intermediates manufacturing

企业内部用于药品生产的关键原料或半产品的制造过程，或者专门企业以药品为主要用途的关键原料或产品的制造。

注1：包括纳入医药工业统计制度中的所有医药中间体品种。

注2：常见的医药中间体产品参见附录A。

[来源：GB 37823—2019, 3.9, 有修改]

3.9

生物药品制品制造 biopharmaceutical manufacturing

利用微生物、寄生虫、动物毒素、生物组织等，采用现代生物技术方法（主要是基因工程技术等）制造作为治疗、诊断等用途的多肽和蛋白质类药物、疫苗、诊断试剂等药品的过程。

注1：不包括利用生物过程制备的原料药进行进一步化学修饰的半合成类制药。

注2：不包括利用微生物氧化由一非生物产品转化为另一非生物产品（如甾体激素）。

注3：不包括中药制造。

[来源：GB 37823—2019, 3.6, 有修改]

3.10

化学药品制剂制造 production of preparation

用药物活性成分和辅料通过混合、加工和配制，形成各种剂型药物的生产活动。

注1：不包括中药制造的制剂生产。

注2：也称为混装制剂类制药。

[来源：GB 37823—2019, 3.3, 有修改]

3.11

药物研发机构 pharmaceutical research and development institutions

从事制药及药物产品研究、开发活动的实验室、测试室、动物房、研发中心等机构。

注：不包括仅仅对药物产品进行理化性质测试的实验室。

3.12

特殊药品 special medicine

青霉素等高致敏性药品、 β -内酰胺结构类药品、避孕药品、激素类药品、抗肿瘤类药品、强毒微生物及芽孢菌制品、放射性药品。

3.13

挥发性有机物 volatile organic compounds; VOCs

参与大气光化学反应的有机化合物，或者根据有关规定确定的有机化合物。

注1：在表征VOCs总体排放情况时，根据行业特征和环境管理要求，可采用总挥发性有机物（以TVOC表示）、非甲烷总烃（以NMHC表示）作为污染物控制项目。

注2：除国家规定的VOCs情形，按照20℃时蒸气压不小于10Pa或者101.325 kPa标准大气压下，沸点不高于250℃的有机化合物或者实际生产条件下具有以上相应挥发性的有机化合物（甲烷除外）确定。

3.14

总挥发性有机物 total volatile organic compounds; TVOC

采用规定的监测方法，对废气中的单项VOCs物质进行测量，加和得到VOCs物质的总量，以单VOCs物质的质量浓度之和计。

注：实际工作中，按预期分析结果，对占总量90%以上的单项VOCs物质进行测量，加和得出。

3.15

非甲烷总烃 non-methane hydrocarbons; NMHC

采用规定的监测方法，氢火焰离子化检测器有响应的除甲烷外的气态有机化合物的总和，以碳的质量浓度计。

3.16

工艺废气 process vents

制药生产工艺过程中排放的废气，包括配制、基因工程、合成、提取、结晶、离心、过滤、干燥、精制、包装、溶剂回收等工艺排气，以及真空泵、危废物暂存区和储罐区等设施的排气。

3.17

发酵尾气 tail gas from fermentation

发酵类制药生产过程中，从微生物发酵罐排出的含生物代谢物质的废气，也包括发酵罐清洗、消毒过程中向外排放的含污染物的蒸气。

3.18

VOCs 物料 VOCs-containing materials

VOCs质量占比大于等于10%的物料，以及有机聚合物材料。

注1：含VOCs原辅材料、含VOCs产品、含VOCs废料（渣、液）等术语的含义与VOCs物料相同。

注2：确定VOCs质量占比时，将20℃时蒸气压不小于10Pa或者101.325 kPa标准大气压下，沸点不高于250℃的有机化合物或者实际生产条件下具有以上相应挥发性的有机化合物（甲烷除外）纳入核算范围。

3.19

污染预防技术 pollution prevention technology

为减少污染物的排放，在生产过程中通过原辅材料替代、生产工艺革新等方法避免或减少污染物产生的技术。

3.20

污染治理技术 pollution treatment technology

在污染物产生后，为了消除或者降低对环境的影响而采用的处理技术。

3.21

环境管理措施 environmental management technology

企事业单位内，为实现污染物有效预防和控制而采取的管理方法和措施。

3.22

高效空气过滤器 high efficiency particulate air filter; HEPA

用于空气过滤其使用 GB/T 6165 规定的计数法进行试验，额定风量下未经消静电处理时的过滤效率及经消静电处理后的过滤效率均不低于 99.95% 的过滤器。

3.23

蓄热燃烧装置 regenerative thermal oxidizer; RTO

将工业有机废气进行燃烧净化处理，并利用蓄热体对待处理废气进行换热升温、对净化后排气进行换热降温的装置，由换向设备、蓄热室、燃烧室和控制系统等组成。

4 总体要求

4.1 污染负荷的确定

4.1.1 废气污染物负荷应按产生污染设备运行工况条件下最大烟气量、最高烟气温度及污染物浓度计算确定。对废气参数波动较大的工况，还应取得波动工况下的废气参数。

4.1.2 现有项目改造设计废气排放量及污染物浓度通过实际测量确定。现场测定应符合 GB/T 16157、HJ/T 397、HJ/T 55、HJ 75、HJ 1286、HJ 1403 等的要求。

4.1.3 新建、改建、扩建项目废气排放量及污染物浓度应根据生产工艺、安全及卫生标准要求，进行热工计算、污染源控制计算及物料平衡计算，并类比相同或相近工艺，按照制药行业相关设计规范要求确定。

4.1.3.1 污水、污泥处理构筑物的臭气风量，根据构筑物的种类、散发臭气的水面面积、臭气空间体积、工艺曝气量等计算确定。

——废水预处理设施（格栅、调节池等）、生化处理设施根据池体投影面积乘以 $3 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ，再加上 1 次/h~2 次/h 空间换气。

——废水生化处理设施臭气风量可按曝气量的 110% 计算；

——污泥处理设施（污泥浓缩池）根据池体投影面积乘以 $3 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ，再加上 1 次/h~2 次/h 空间换气。

——污泥脱水间、污泥存储间、污泥处理处置车间等构筑物宜将设备分隔除臭。难以分隔时，人员需要进入的处理构（筑）物，抽气量宜按换气次数不少于 8 次/h 计算，经常进入且要求高的场合，换气次数可按照 12 次/h 计算；贮泥料仓等一般人员不进入的空间按 4 次/h~6 次/h 计算。

4.1.4 设计风量的确定应考虑 10%~20% 的富裕量；如确定的污染物设计浓度处于爆炸极限范围内，应该设置缓冲装置或其他等效装置，以爆炸下限的 25% 作为最大设计浓度；如果不具备条件，经过安全评估后可以控制废气中的氧含量在 5% 以内。

4.2 一般规定

4.2.1 企业应积极采用节能减排及清洁生产技术，优先从源头减少污染物产生，通过原料替代，原料储运、投加方式的改进及先进的反应、分离工艺设备的采用，工艺过程中过滤、离心分离、萃取及干燥等排气的高效物料回收等措施，有效减少颗粒物、酸碱废气及 VOCs 等向大气的排放；鼓励对可回收的物质、热量等进行回收利用；采用高效治理技术，最大程度削减污染物排放量。

4.2.2 企业应综合考虑废气来源、废气量、废气成分及主要污染物浓度、废气性质（温度、湿度、压

力等)、排放规律(连续、间歇等)、达标排放要求、投资费用与运行成本、二次污染、安全性、总图布置、使用年限等因素,选择治理工艺路线。

- 4.2.3 治理工艺设计应遵循成熟可靠、技术先进、经济适用的原则,并考虑节能、安全和操作维护方便等因素,确定治理工艺、技术与装备。
- 4.2.4 企业废气治理系统装备水平应不低于生产工艺装备水平,企业应把治理设备作为生产系统的组成部分进行管理,应与生产设备同步运行。
- 4.2.5 企业废气治理工程应符合国家现行有关工程质量、安全卫生、节能、消防等政策法规和标准的规定。
- 4.2.6 企业废气治理装置的处理能力应与工程的建设规模相匹配,应结合分期建设的需要,预留废气处理装置处理能力。
- 4.2.7 废气治理工程的场址选择应符合 HJ 2000 及有关规定,并应避开防爆区,远离生活区。若因场地条件限制,废气处理装置需建设以上区域内或邻近区域时,废气处理装置的场址布置还应遵守国家现行相关标准的规定。
- 4.2.8 废气治理系统宜配置完善的自动监测、报警和联锁控制系统,实现智能化、数字化控制,并根据需要与生产工艺进行必要的联锁。
- 4.2.9 废气治理系统应采用国家鼓励的高效节能的装备。废气治理设施噪声控制应符合 GB/T 50087 和 GB 12348 的规定。
- 4.2.10 废气治理设施应尽量靠近污染源布置,管路布置流畅,减少烟气流动阻力损失;建构物及架空管道等设施的高度,应考虑距其上方电力输送线路的安全防护距离,以及防雷电保护;废气治理系统平面布置应留有设备安装、检修的通道及位置。

4.3 污染预防技术

4.3.1 污染预防技术包括选择环境友好的原辅材料、高效低排的工艺过程。

4.3.2 原辅材料的源头控制

- 4.3.2.1 企业应采用无毒、无害或低毒、低害的原辅料替代高毒和难以去除高毒的原辅料,以减少废气的产生量或降低废气的特征组成及毒性。
- 4.3.2.2 企业应参考附录 B,筛选并优先采用低反应活性的原料代替高反应活性的原辅料,以减少废气排放对臭氧和 PM_{2.5} 的贡献。
- 4.3.2.3 企业应参考附录 B,筛选并优先采用高嗅阈值的原辅料代替低嗅阈值的原辅料,以减少废气排放对周边产生的恶臭(异味)影响。
- 4.3.2.4 企业应按安全性、健康、环境三个角度选择溶剂,选择考虑的指标及等级见附录 B。

4.3.3 工艺过程的源头控制

- 4.3.3.1 鼓励企业采用高效低耗的工艺设备,从源头减少或者削减 VOCs 无组织排放。
- 4.3.3.2 企业应优先采用溶剂使用和大气污染物产生的工艺反应。
- 4.3.3.3 企业应采用连续化、自动化、密闭性生产工艺设备,提升工艺装备水平。

4.4 污染治理技术

4.4.1 污染治理技术的选择应结合废气的规模、污染物种类、污染物浓度和企业经济状况、企业平面布局等选择合适的处理工艺。

4.4.2 污染治理技术的选择遵循分类分质处理、资源回收利用、排放全面达标、安全稳定运行、减污降碳协同、费用效益合理的原则。

——分类分质处理：考虑无机污染物和有机污染物、卤代烃与其他有机污染物、高浓度和低浓度等不同特征进行分类收集、分质处理。

——资源回收利用：优先选择能够对废气中污染物进行回收利用的技术方案，回收的有机物可以用于生产或者作为产品出售。

——排放全面达标：治理后的污染物排放限值、治理效率和排放总量应满足排放标准的规定。

——安全稳定运行：污染治理技术应该符合国家和地方防火、防爆、防震、防雷等安全设计规范要求，确保治理设施安全稳定运行。

——减污降碳协同：污染治理技术在确保污染物排放满足排放标准的基础上，要考虑节能降耗，实现减污降碳协同。

——费用效益合理：在保证稳定达到排放要求的基础上，选择与企业经济承受能力相适应，建设成本和运行成本较低，经济适用的技术工艺；采用经济节能型工艺设备，建设治理设施的数量；按照附录 C 计算治理前后综合环境效益，优先选择综合环境效益大的治理技术。

4.5 运行管理

4.5.1 企业应始终贯彻质量、环境、健康、安全理念，建立和有效运行环境管理体系。

4.5.2 企业应建立污染治理技术设施的台账，根据治理设施的使用要求和操作规程，建立吸附材料、吸收剂等耗材更换的管理制度。

4.5.3 企业应建立治理工程相关的各种运行、维护规程和管理制度，按规程进行操作，定期对各类设备、电气仪表、建（构）筑物等进行检查维护，确保治理工程稳定可靠运行。

4.5.4 废气治理装置运行过程中，所有参与过程控制的烟气检测参数、监测参数和污染物排放参数，应有完善的历史记录，历史记录至少保存 12 个月。

4.5.5 正常工况下，废气治理系统应与生产工艺设备同步运行。废气收集处理系统发生故障或检修时，相关的生产工艺设备应停止运行；生产工艺设备不能停止运行或不能及时停止运行的，应采取设置废气应急处理设施、废气治理系统关键设备备用或其它替代措施。

4.5.6 废气治理装置的运行和维护应纳入全厂的运行维护计划。

4.5.7 废气治理设施的设计、安全和运行应纳入安全评估内容，并编制废气治理系统环境应急预案，并及时按有关规定进行修订、更新和备案。

5 污染预防技术

5.1 原辅材料替代技术

5.1.1 发酵类制药

5.1.1.1 结晶过程优先采用水提取替代甲醇提取。

5.1.1.2 维生素生产中优先采用硫氰酸盐替代氰化物。

5.1.1.3 使用生物酶作为催化剂，减少原辅材料种类，提高原辅材料利用率。

5.1.2 化学合成类制药及医药中间体制造

5.1.2.1 采用水性洗涤液取代其他溶剂、溶液。

- 5.1.2.2 选择毒性低或活性保持时间长的、不易流失的催化剂。
- 5.1.2.3 使用未经暴露（氧化、蒸发）和无杂质与未受到污染的原料。
- 5.1.2.4 设备清洗时选用不腐蚀设备且本身易被清除的清洁剂等。
- 5.1.2.5 使用生物酶作为催化剂，减少原辅材料种类，提高原辅材料利用率。
- 5.1.2.6 使用离子液体代替溶剂反应。

5.1.3 提取类制药

- 5.1.3.1 优先使用水提方式代替醇提技术。
- 5.1.3.2 使用酶制剂代替醇提技术。

5.1.4 中药制造

- 5.1.4.1 使用水提方式代替醇提技术。
- 5.1.4.2 使用酶制剂代替醇类或酮类溶剂。
- 5.1.4.3 使用植物提取液代替醇类或酮类溶剂。
- 5.1.4.4 使用超临界流体代替醇类或酮类溶剂。

5.1.5 生物药品制品制造

- 5.1.5.1 使用无血清培养基代替传统培养基。
- 5.1.5.2 使用极性生物基溶剂代替传统偶极非质子溶剂。

5.1.6 化学药品制剂制造

- 5.1.6.1 使用非卤代烃溶剂，生产水基、乳液、颗粒产品。
- 5.1.6.2 使用非芳香烃类溶剂，生产水基、乳液、颗粒产品

5.2 过程控制技术

5.2.1 物料储存过程

- 5.2.1.1 挥发性有机液体储罐的无组织排放控制应符合 DB31/ 310005、DB32/ 4042、DB33/ 310005、DB34/ 310005 的要求。
- 5.2.1.2 根据物料特性选择合理的储罐类型，符合浮顶罐选择条件的，应优先选用内浮顶罐。在符合相关规范要求的前提下，选择白色罐壁涂料，同时选用不易由于化学变化而降低其反射太阳辐射性能的涂料。储罐涂料应定期重刷，以保护罐体不被腐蚀，并保持良好的反射阳光性能。
- 5.2.1.3 储罐氮封技术：氮封系统结合呼吸阀，自动调节罐内压力的变化，根据设置的压力自动补充氮气和排出废气，确保系统内压力平衡，减少直接外排。
- 5.2.1.4 不同来源的物料进入同一座储罐时，入罐温度差别应不高于 5℃；储罐集中处理装置排放的温度不宜高于 45℃，不宜含有过饱和水蒸气和气带液现象等，不符合要求的废气要进行冷凝、气液分离等预处理，减少废气排放量。
- 5.2.1.5 应选择使用低泄漏的呼吸阀、紧急泄压阀。按照表 1 给出的标准优先选择高效呼吸阀。
- 5.2.1.6 合理设置呼吸阀的操作压力，在保证安全的前提下，提高呼吸阀的操作压力，确保低于呼吸阀设定的开启压力 75% 时不开启。
- 5.2.1.7 鼓励开发呼吸阀排放在线监控系统和在线检测维护系统，提高呼吸阀的稳定运行。

表1 高效呼吸阀的分级标准

规格, mm	泄漏量, m ³ /h		
	第III级	第II级	第I级
DN≤150	0.04	0.0142	0.0017
200≤DN≤400	0.4	0.1416	0.0030
DN>400	0.5663	0.4	0.0045

5.2.1.8 苯、甲苯、二甲苯宜采用内浮顶罐并安装顶空联通置换油气回收装置。

5.2.1.9 内浮顶罐应设置二级密封，边缘密封可采用液封式和机械挂板双重结构，优先选择全接液浮盘和全补偿高效密封组合技术；建立密封性能衰减预警机制，通过 VOCs 检测提前发现微泄漏，及时更换。

5.2.2 物料装载转移过程

5.2.2.1 挥发性有机液体装载的无组织排放控制应符合 DB31/ 310005、DB32/ 4042、DB33/ 310005、DB34/ 310005 的要求。

5.2.2.2 鼓励采用先进的装卸系统，车辆中转、装卸过程应设置密闭充装设施，优先采用全密闭装卸方式，严禁喷溅式装卸，苯、甲苯、二甲苯等反应活性有机溶剂采用底部装卸，其他物料优先采用底部装卸或者液下装卸方式。

5.2.2.3 在符合安全操作的前提下，有机液体装卸应采用干式快速接头。

5.2.2.4 槽车和储罐之间挥发性有机液体在转移过程中应设置气相平衡系统或者废气收集处理等其他等效措施。

5.2.2.5 储罐储存的挥发性有机液体应采用密闭管道输送至生产装置。

5.2.3 工艺革新技术

5.2.3.1 发酵类制药和生物药品制品制造推行连续反应工艺、微通道技术代替序批式反应工艺；采用酶催化技术、无溶剂技术、发酵液直通工艺；采用双水相萃取技术、移动式连续离子交换色谱分离技术、液膜分离技术、无机陶瓷组合膜分离、纳滤分离浓缩技术。

5.2.3.2 化学合成类制药推行采用空气接触氧化代替氧化剂氧化工艺，采用微通道反应、手性合成、酶促合成、连续反应等技术代替传统的合成技术，采用高效动态轴向压缩工业色谱技术、溶剂气体低温冷凝回收技术、渗透汽化膜代替传统的分离技术，采用超临界二氧化碳代替溶剂的反应过程。

5.2.3.3 提取类制药采用高效提取纯化技术、超临界二氧化碳萃取技术、逆流萃取技术，采用胰弹性酶和激肽原酶联产技术、肝素系列产品综合生产技术。

5.2.3.4 化学药品制剂制造采用 3D 打印技术、基于机器视觉的药品检测技术、工业机器人技术等提高工艺的效率。采用全自动高速压片机、自动灯检机、自动装盒机等先进设备制备制剂。

5.2.3.5 中药制造中采用多级逆流循环和超声波提取辅助技术，提高提取效率；采用双效蒸发器结合热泵回收技术降低浓缩环节的物耗和能耗；采用紊流三维混合造粒技术代替传统的干法和湿法造粒技术。

5.2.3.6 宜采用垂直布置流程，选用“离心/压滤-洗涤”二合一或“离心/压滤-洗涤-干燥”三合一的设备，通过合理布置实现全封闭生产。

5.2.3.7 企业应逐渐减少采用移动缸生产方式的比例，提高固定釜生产方式。

5.2.4 配制和投料过程

5.2.4.1 原辅材料配制应在密闭空间或密闭设备中进行，可采用手套箱等方式进行。

5.2.4.2 易产生 VOCs 的固体物料采用固体粉料自动投料系统、螺旋推进式投料系统等密闭投料装置，若难以实现密闭投料的，将投料口密闭隔离，采用负压排气将投料尾气收集至 VOCs 废气处理系统。

5.2.4.3 液体物料应采用管道输送与投料，在储罐与反应釜之间实现管道化送料，并设置流量计量装置，物料计量后输送至反应釜。采用无泄漏泵定量输送方式或高位槽（计量槽）投加，替代真空抽料，进料方式采用底部给料或使用浸入管给料，顶部添加液体采用导管贴壁给料。易燃、易爆、易挥发的物料，优先采用定量输送方式。高位槽宜设置氮封设施，高位槽与中间槽、罐区储罐应设置气相平衡管，高位槽与料桶间宜设置气相平衡管，尾气应接入废气处理系统。

5.2.4.4 输送易燃及有毒、有害液体化工物料，采用屏蔽泵、隔膜泵、磁力泵等无泄漏的泵或管道输送液体物料。间歇生产单元应采用全过程氮气保护自动控制系统，单元系统内的设备之间输送介质宜在避免交叉污染的情况下采用气相平衡管技术

5.2.4.5 反应釜投料口宜增设气幕隔离装置，所产生的置换尾气（放空尾气）有效收集至 VOCs 废气处理系统。为避免过度收集，加料时打开反应系统连接废气收集系统的阀门，其余时间应保持尽可能低的开启度。

5.2.5 工艺控制技术

5.2.5.1 常压带温反应釜配备冷凝或深度冷凝回流装置回收，高浓度工艺废气可设置两级及以上冷凝装置，减少反应过程中挥发性有机物料的损耗；根据物料种类计算合理的冷凝温度，一般为 $-20^{\circ}\text{C}\sim 5^{\circ}\text{C}$ ；不凝气体做到达标后排放；如果不凝气体不能达标，则应有效收集到 VOCs 废气收集处理系统。设置一级冷凝装置时，可参照以下设计冷凝装置。

——针对真实蒸气压大于 40 kPa 的溶剂，冷凝后废气温度应不高于 -25°C ；

——针对真实蒸气压大于 20 kPa 的溶剂，冷凝后废气温度应不高于 -15°C ；

——针对真实蒸气压大于 10 kPa 的溶剂，冷凝后废气温度应不高于 0°C ；

——针对真实蒸气压大于 7 kPa 的溶剂，冷凝后废气温度应不高于 10°C ；

——针对真实蒸气压大于 3.5 kPa 的溶剂，冷凝后废气温度应不高于 25°C 。

5.2.5.2 溶剂在蒸馏/精馏过程中采用多级梯度冷凝方式，冷凝器优先采用螺旋绕管式或板式冷凝器等高效换热设备，并有足够的换热面积和热交换时间。

——对于常压蒸馏/精馏釜，冷凝后不凝气和冷凝液接收罐放空尾气排至废气收集处理系统；

——对于减压蒸馏/精馏釜，真空泵尾气和冷凝液接收罐放空尾气排至废气收集处理系统；

——蒸馏/精馏釜出渣（蒸/精馏残渣）产生的废气排至废气收集处理系统，蒸馏/精馏釜清洗产生废液采用管道密闭收集输送至废水集输系统或密闭废液储槽，储槽放空尾气密闭收集。

5.2.5.3 液液分离单元采取以下控制措施。

——设备宜采用连续密闭分离装置，优先采用萃取离心机、连续萃取塔等。

——淘汰采用普通釜式分离的设备。

5.2.5.4 液固分离单元操作采取以下控制措施。

——淘汰敞口压滤机、板框式的明流压滤机；根据工艺特点，采用抽滤式工艺、压力渗透等分离技术；选用密闭式、自动化程度较高的压滤机，可根据物料的特性选用“过滤-洗涤”二合一机、“过滤-洗涤-干燥”三合一机、全自动隔膜式压滤机、全密闭压滤罐、高效板式压滤机

等。因特殊原因，不能选用密闭式压滤设施的，应对相关生产区域进行密闭隔离，设置独立压滤区域，并设局部强制通风设施，将有机废气收集至 VOCs 废气收集处理系统。

——淘汰敞开式、人工卸料离心机。采用密闭式、自动化程度较高的离心机。涉及到易燃、易爆、有毒、有腐蚀物料的离心机，优先采用全自动密闭离心机、下卸料密闭离心机、吊袋式离心机等，因特殊原因，不能选用自动卸料离心机的，应对相关生产区域进行密闭隔离，设置独立离心区域，并设局部强制通风设施，将有机废气收集至废气收集处理系统。

5.2.5.5 真空系统单元优先采用干式真空泵；若使用液环（水环）真空泵、水（水蒸气）喷射真空泵等，工作介质的循环槽（罐）密闭，水环泵宜设置冷却装置；真空系统宜安装缓冲罐并设置两级冷凝装置，真空排气、循环槽（罐）排气排至 VOCs 废气收集处理系统。

——采用干式真空泵系统的前提是防止泵内出现气体冷凝；

——当工艺废气中采用腐蚀性物质时，应考虑防腐措施，否则不宜采用干式真空系统。

5.2.5.6 物料干燥应在密闭设备中进行，工艺条件和厂房设施允许的情况下，宜优先选用过滤洗涤干燥三合一机，以减少物料的转移，降低有害物质泄漏和有机溶剂挥发。工艺条件或者厂房层高等客观原因不适合选用过滤干燥一体机的，宜优先选用干燥效率高的双锥真空干燥机、单锥螺旋干燥机、闪蒸干燥机或喷雾干燥机等干燥技术，并满足以下要求。

——干燥设备的进料和出料应采取相对密闭的措施，进出料区域应设置强制通风设施，排风经除尘器除尘后再排放。

——采用耙式干燥、单锥干燥、双锥干燥、真空烘箱等先进干燥设备，干燥过程中产生的真空尾气优先冷凝回收物料，不凝气排至 VOCs 废气收集处理系统。

——采用箱式干燥机时，则对相关生产区域进行密闭隔离，采用负压排气将无组织废气排至 VOCs 废气收集处理系统，采用真空干燥箱时，宜配备蒸汽喷射器，维持稳定负压工况。

——采用喷雾干燥、气流干燥机等干燥时，产生的无组织废气排至废气收集处理系统。

——含有机溶剂的物料避免使用热风循环烘箱。

5.2.5.7 反应釜采用磁力密封搅拌系统，减少泄漏率。

5.2.5.8 生物药品制品制造采用超高压均质机、高压纳米均质机代替传统的细胞破碎机。

5.2.5.9 应优先渗透汽化膜技术、碳纤维吸附回收技术等溶剂回收技术，特别是针对卤代烃等特殊挥发性有机物。

5.2.5.10 采用超声波、负离子空气洗瓶技术，降低溶剂的使用量。超声波洗瓶技术适用于玻璃瓶、塑料瓶等清洗，负离子空气洗瓶技术适用于塑料瓶清洗，不适用于玻璃瓶。采用三合一无菌制剂生产技术，该技术适用于无菌制剂塑料容器的吹塑制瓶、灌装、封口全过程。

5.2.5.11 当采用移动缸操作时，优先采用底部、浸入管给料方式实施挥发性有机液体转移；移动缸及设备零件（不可拆卸的搅拌轴等除外）清洗时，应采用密闭系统或在密闭空间内操作，废气应排至 VOCs 废气收集处理系统；不可拆卸的搅拌轴等部件清洗时，应有效收集，排至废气收集处理系统。

5.2.6 设备及管线组件泄漏检测与修复

5.2.6.1 优先采用低泄漏或无泄漏的泵、压缩机、搅拌机等设备和管线组件。

5.2.6.2 宜减少阀门数量，并采用低泄漏或无泄漏的阀门，如屏蔽阀、隔膜阀、波纹管阀或具有同等效能的阀门，以及上游配有爆破片的泄压阀。

5.2.6.3 宜减少管线法兰的数量。对于不需要活动连接的，宜采用焊接管替代法兰；对于无法焊接的，采用密封性能好的密封垫，如聚四氟乙烯、石墨密封垫等。

- 5.2.6.4 开口阀或开口管线配备合适尺寸的盖子、盲法兰、塞子或二次阀，采用二次阀时，应在关闭二次阀之前关闭管线上游的阀门。
- 5.2.6.5 设备及管线组件泄漏检测与修复应符合 DB31/T 310007、DB32/T 310007、DB33/T 310007、DB34/T 310007 的要求。鼓励开发集红外热成像检测系统和常规检测系统一体化的智能管控系统。
- 5.2.7 其他
- 5.2.7.1 气态 VOCs 物料和挥发性有机液体采用在线取样分析系统，或采用闭式冲洗、闭式循环、闭式排气、在采样系统或无须置换残留液的密闭式采样系统；因工艺或安全等因素，无法采用密闭式采样方式的，可采用以下做法减少 VOCs 的排放：
- 收集并能及时、有效处理冲洗管线的有机液体或气体；将采样废气排入收集处理系统。
 - 将开放式或密闭式采样点纳入 LDAR 的管控范围内，按 LDAR 管控要求进行管理。
- 5.2.7.2 对于冷却塔、循环水冷却系统应该加强泄漏检查，在最短时间内发生漏点，避免影响循环水质，查找出的泄漏设备应立即从系统中切出，如果确实无法切出的，应让循环回水排入废水处理系统，避免影响其他换热设备和整个循环水系统。

6 污染治理技术选择

6.1 一般要求

- 6.1.1 应加强对制药行业生产工艺过程废气的分类收集。
- 6.1.2 制药废气污染具有多样性和复杂性，单一技术难以实现污染物的有效控制，应加强制药废气尤其是含 VOCs 废气治理技术的集成与优化。
- 6.1.3 原则上不宜将高浓度废气直接与大风量、低浓度废气混合后处理。含有卤素的废气，应尽量分质收集单独处理达标排放，或者经过预处理后才能接入燃烧（焚烧、催化）等装置。
- 6.1.4 高浓度 VOCs 废气，优先采用冷凝（冷冻）、吸附浓缩回收等技术对废气中的 VOCs 回收利用，不具有回收价值的，可以浓缩后辅以燃烧法（催化燃烧、热力焚烧）等治理技术。采用燃烧法产生的高温废气宜进行热能回收，应保证足够的温度和停留时间，减少二次污染的生成。
- 6.1.5 中、低浓度 VOCs 废气，有回收价值时宜采用吸附浓缩技术回收处理，无回收价值时优先采用吸附浓缩—燃烧技术处理；或者采用直接催化氧化、高效吸收、高效吸附等技术处理。
- 6.1.6 非水溶性组分为主要组成的废气不能采用单一洗涤吸收方式处理。水溶性组分为主要组成的废气经评估可采用洗涤吸收方式处理的，应选择合适的吸收液和吸收方式，并加强运行和排放监控。
- 6.1.7 企业或生产设施应按照《病原微生物实验室生物安全管理条例》《病原微生物实验室生物安全环境管理办法》等有关规定，对涉及生物安全的废气进行灭活灭菌后才能排放，灭活灭菌方法应符合《消毒技术规范》的规定。

6.2 废气收集技术

6.2.1 通用要求

- 6.2.1.1 废气收集系统应与生产工艺协调一致，不影响工艺操作。在保证收集能力的前提下，应力求结构简单，便于安装和维护管理。
- 6.2.1.2 当废气中含有颗粒物、油雾、无机污染物、有机污染物等多种污染物时，收集系统的设计应综合考虑风速等不同参数的设计要求。

- 6.2.1.3 有机废气收集系统总排风量宜根据单个收集装置风量和设计重叠率进行计算确定，系统宜根据单源散发规律或多源散发重叠率规律进行变风量运行控制。
- 6.2.1.4 集气方向尽可能与污染气流运动方式一致，避免或减弱干扰气流和送风气流的影 响。
- 6.2.1.5 废气收集优先采用密闭排风罩；在条件不允许的情况下，可以采用半密闭罩或者局部排风罩。
- 6.2.1.6 采用局部收集时使用集气罩，收集装置的投影面积不应小于废气排放源的投影面积，应保持罩口呈现微负压状态，且罩内负压均匀。在条件允许的情况下，可采用送风气幕、移动式排风罩、外部式排风罩与密闭罩复合等辅助措施。
- 6.2.1.7 对于有洁净度要求的车间，宜采用全面收集方式，应在确保安全的前提下保持车间的密闭性；根据人员作业方式，选择上吸式还是下吸式，避免有毒有害气流影响操作人员健康。
- 6.2.1.8 有机废气收集系统的浓度应符合 GBZ 2.1、GBZ 2.2 中职业卫生的相关规定，且低于有机物的爆炸下限的 25%；如果条件不具备，经过安全评估后可以控制废气中的氧含量在 5%以内。
- 6.2.1.9 收集装置宜设置与工艺联动的自动启闭阀门，风机变频与阀门启闭联动，实现变风量运行。
- 6.2.1.10 应根据废气的理化性质、加工工艺要求及环境影响等选择收集系统材料。
- 6.2.1.11 易燃易爆有机废气收集系统应采取防静电、防爆措施，并应符合下列要求。
- 优先选用金属材质的管道和设备。
 - 如采用塑料类材料，应选择阻燃、防静电型，且满足相关规范要求。
 - 不同防火分区应设防火阀隔断。

6.2.2 收集效率

不同收集方式参考的捕集效率如表 2 所示。

表2 不同收集方式的捕集效率

收集方式		方法描述	收集效率，%
全密封设 备	单层密闭负压	VOCs产生源设置在密闭车间、密闭设备、密闭管道内，所有开口处，包括人员或物料进出口处呈负压（敞开截面处的吸入风速不小于0.5m/s）。	90
	单层密闭正压	VOCs产生源设置在密闭车间、密闭设备、密闭管道内，所有开口处，包括人员或物料进出口处呈正压，且无明显泄漏点	80
	双层密闭空间	将有VOCs释放的设备放置在密封的空间，空间实施双层密封，内层为正压，外层为负压。	98
	设备废气排放口直接相连	反应釜、计量罐、储罐、离心机、真空泵等设备，所有可能的泄漏口均采用PN6以上等级法兰或阀门连接，且无开口操作，废气排放口直接与废气管采用PN6以上等级法兰连接。	100
	设备废气排放口直接相连	设备有固定排放管（或口）直接与风管连接，设备整体密闭只留产品进出口，且进出口处有废气收集措施，收集系统运行时周边基本无VOCs散发	95
半密闭罩或通风橱方式收集		污染物产生点或生产设施四周及上下有围挡设施，仅保留一个操作工位面或者仅保留物料进出通道（通道敞开面小于1个操作工位），敞开面控制风速不低于0.5 m/s（粉尘收集不低于0.75m/s）。	65
包围型集气罩		采用三面包围式收集，含四周设置软帘的集气罩	50

表 2 不同收集方式的捕集效率（续）

外部式集气罩	热态上吸风罩	污染物产生点（面）处，往吸入口方向的控制风速不小于0.5 m/s（热态：污染源散发气体温度 $\geq 60^{\circ}\text{C}$ ）	60
	冷态上吸风罩	污染物产生点（面）处，往吸入口方向的控制风速不小于0.3 m/s（冷态：污染源散发气体温度 $< 60^{\circ}\text{C}$ ）	50
	侧吸风罩	污染物产生点（面）处，往吸入口方向的控制风速不小于0.5m/s,且吸风罩离污染源远端的距离不大于0.6 m。	40

6.2.3 具体设计要求

- 6.2.3.1 废气收集系统排风罩（集气罩）的设置应符合 GB/T 16758 的规定。采用外部排风罩的，应按 GB/T 16578、AQ/T 4274—2016 规定的方法测量控制风速，测量点应选取在距排风罩开口面最远处的 VOCs 无组织排放位置，控制风速不应低于 0.3 m/s。医药研发机构中通风柜的控制风速应该满足 GB 41918、JB/T 6412、JG/T 385 和 JG/T 222 的要求。
- 6.2.3.2 反应釜、蒸馏冷凝器不凝气体应通过专用排气管道收集进入废气处理系统。
- 6.2.3.3 储罐呼吸气的收集宜采用密闭管道收集，避免氧气进入废气；采用包围式或者外部式集气方式收集时，设计合理的风量，并对氧气的浓度进行监控。宜采用负压运行方式，当存在正压部分时，应加强密闭措施。
- 6.2.3.4 生物安全柜、动物房以及涉及微生物、病毒等其他涉及生物安全风险的环节，应采用负压收集的方式，废气进入废气治理设施。
- 6.2.3.5 生物药品制剂制造、医药研发机构等涉及设备消毒、熏蒸等环节的，应采用负压收集的方式，排气进入废气治理设施。
- 6.2.3.6 优先采用直管连接，减少软管或法兰的使用，减少 90° 弯头的数量；收集管线尽量缩短输送距离；管道材质应选用光滑内壁，避免粉尘积聚；收集管道应设置不小于 0.005 的坡度，避免冷凝液的累积，在风管的最低点设置排液收集装置。
- 6.2.3.7 废气收集系统各环路的压力损失应进行水力平衡校核，相对差额不宜超过 15%，若通过调整管径仍无法满足要求时，宜设置调节阀等风量调节装置；如果收集管道距离比较长，应考虑设置中继风机，提高收集效率。
- 6.2.3.8 有机废气收集系统的收集管道应密闭。有机废气收集系统宜在负压下运行，若收集系统处于正压状态时，应对输送管道组件的密封点进行泄漏检测，泄漏检测值不应超过 500 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ 。
- 6.2.3.9 污水集输系统恶臭气体的密闭性和收集措施应满足 DB 31/310005、DB32/ 4042、DB33/ 310005、DB34/ 310005 的要求；宜采用吸气式负压收集，当恶臭气体产生点较多时、彼此距离较远时，应适当分设多套收集系统。吸风口的设置点应防止设备和构筑物内部气体短流以及污水处理工程中产生的水或泡沫进入收集系统。
- 6.2.3.10 集气罩结构设计和净化系统抽力设计应控制集气罩内的负压为-10Pa~-30Pa，防止有毒气体外逸。
- 6.2.3.11 收集系统应使用 PLC 控制系统，根据生产工况可以自动切换收集模式，在清洗环节应该启用 20%的基准风量；安装文丘里流量计，精度误差宜不高于 3%。
- 6.2.3.12 涉及 VOCs 及恶臭污染物的收集，还应满足 GB 37823、DB31/ 310005、DB32/ 4042、DB33/ 310005、DB34/ 310005 以及国家和地方恶臭污染物排放标准的要求。

6.3 含尘废气处理技术选择

- 6.3.1 发酵尾气具有温度高、湿度大的特点，其颗粒物去除技术可以采用旋风除尘作为预处理措施，然后经过喷淋冷却塔将温度降低到 40℃~60℃以下，然后采用袋式除尘处理技术；喷水温度控制在不高于 40℃左右，不宜过高温度，避免对滤袋的损伤。
- 6.3.2 中药制造企业颗粒物的去除应根据颗粒物的性质选择，通常可采用干式过滤器；针对粒径较小的废气，应采用覆膜式除尘器；中药提取车间含挥发油粉尘的去除可采用文丘里碱液吸收+袋式除尘器+光催化氧化等组合技术。
- 6.3.3 干燥工序废气中颗粒物可采用袋式除尘处理技术，为了进一步提高去除效率，可采用覆膜式滤袋的方法。
- 6.3.4 粉碎和包装废气中颗粒物浓度可采用滤芯除尘器，必要时可以采用洗涤塔作为后续除尘设施，采用稀硫酸或者碱液进一步去除碱性或酸性颗粒物。
- 6.3.5 生物安全柜、动物负压隔离设备排气应配备高效空气过滤器或者其他等效措施。
- 6.3.6 制剂包装环节应配备高效空气过滤器。对于特殊药品生产设施排放的药尘废气，应采用高效空气过滤器进行净化处理或采取其他等效措施，高效空气过滤器应满足 GB/T 13554—2020 中 A 类过滤器的要求，涉及病毒的废气，应该设置废气消毒工序。

注：特殊药品包括：青霉素等高致敏性药品、β-内酰胺结构类药品、避孕药品、激素类药品、抗肿瘤类药品、强毒微生物及芽孢菌制品、放射性药品。

6.4 无机废气处理技术选择

- 6.4.1 氯化氢、溴、溴化氢、氯气、氨气、硫化氢、氰化氢等水溶性无机废气可采用多级吸收法或吸附法进行处理；根据污染物性质，采用水、酸、碱等吸收液；根据场地条件或排放要求，选择填料塔、降膜吸收塔、超重力吸收塔等技术；对于氯气、氰化氢、溴气、溴化氢等废气应采用活性炭吸附等技术进行深度处理。
- 6.4.2 针对难水溶性的无机废气可以采取吸附的方式进行处理；或者适当增加氧化剂，提高氧化产物的水溶性。
- 6.4.3 氰化氢通常可以使用氢氧化钠溶液为洗涤介质，应对 pH 值进行定期监测，及时更换氢氧化钠溶液，废气吸收液可采用过氧化氢氧化处理等技术等相关标准接入废水处理系统。
- 6.4.4 卤化废气、碘氯化废气、光气化废气、酰基氯的酯化废气等富含氯化氢废气应考虑回收技术。
- 6.4.5 氯化过程废气氯的吸收可以通过在紫外线照射下与有机原料反应和吸收过程实现氯的回用；也可以采用催化技术实现氯气和氯化氢的回用。
- 6.4.6 低浓度氨、硫化氢的废气可以采用臭氧氧化、催化氧化、紫外氧化、等离子氧化等技术和生物法、超重力吸收、酸碱吸收等技术及其组合技术进行处理；同时还应考虑臭气浓度的影响，满足 6.6 中的要求。

6.5 有机废气处理技术选择

6.5.1 储罐与装卸废气

- 6.5.1.1 采用吸收、吸附、冷凝、膜分离等组合工艺回收处理或引至工艺有机废气治理设施处理。
- 6.5.1.2 优先选择深度冷凝技术处理储罐呼吸气和装卸废气，冷凝温度不宜低于净化对象的凝固点，或者采取其他等效措施，以避免结霜。
- 6.5.1.3 储罐呼吸气体的收集过程应与紧急泄压阀、安全阀等操作压力的协同，控制收集系统的氧含量在安全浓度范围。
- 6.5.1.4 装卸气体收集过程应与装卸系统的操作方式协调，控制收集系统的氧含量在安全浓度范围。

6.5.2 发酵尾气

- 6.5.2.1 发酵类制药的发酵尾气与其他废气混合前应进行预处理；可通过冷凝或气液分离降低废气湿度，避免腐蚀设备并提高后续处理效率。
- 6.5.2.2 发酵类制药的发酵尾气可采用碱洗+化学氧化吸收+水洗、冷凝+生物法、吸附浓缩+燃烧等处理技术。
- 6.5.2.3 采用吸附浓缩+燃烧处理技术时，应对颗粒物进行预处理，颗粒物浓度不应超过 2 mg/m^3 。

6.5.3 工艺有机废气

- 6.5.3.1 反应、分离、提取、精制、干燥、溶剂回收等工序的高浓度有机废气（TVOC 或 NMHC 不低于 1000 mg/m^3 ）可以采取以下措施。

- 优先采用冷凝技术进行预处理，根据废气组成理化特征，可以采用深度冷凝技术、多级冷凝技术，提高冷凝效果。具有回收价值的冷凝液，可采用蒸馏/精馏等技术对溶剂进行溶剂回收利用；不具有回收价值的冷凝液，可作为危险废物进行妥善处置。
- 鼓励采用膜浓缩、吸附浓缩+冷凝回收技术或者吸收回收技术进行处理，根据废气组成理化特征，合理选择吸附材料、脱附介质，对高沸点物质，宜采用热辅助真空脱附技术。
- 冷凝后的有机废气、吸附浓缩后没有回收价值的废气，可采用燃烧、吸附浓缩+燃烧进行处理，或者送工艺加热炉、锅炉、焚烧炉等燃烧系统进行处理。
- 根据废气组分理化特征，直接采用燃烧、吸附浓缩+燃烧进行处理，或者送工艺加热炉、锅炉、焚烧炉等燃烧系统进行处理。

- 6.5.3.2 反应、分离、提取、精制、干燥、溶剂回收等工序的低浓度有机废气（TVOC 或 NMHC 低于 1000 mg/m^3 ）可以根据 VOCs 物种性质和浓度水平，可选择采取以下措施：

- 采用吸附/脱附和冷凝回收技术，具有回收价值的冷凝液，可采用蒸馏/精馏等技术对溶剂进行回收利用；不具有回收价值的冷凝液，可作为危险废物进行妥善处置。
- 采用吸附浓缩+燃烧进行处理，或者直接催化氧化技术，或者送工艺加热炉、锅炉、焚烧炉等燃烧系统进行处理。采用直接催化氧化技术的，应根据 VOCs 物种特征，合理设计催化剂，提高催化效果。
- 采用化学氧化吸收技术、超重力吸收技术、活性炭纤维吸附及其组合技术进行处理。针对水溶性的 VOCs，可以增加表面活性剂提高吸收效果；针对难水溶性 VOCs 可以采用高沸点有机溶剂或者混合溶剂进行吸收，但需要考虑高沸点有机溶剂可能排放的 NMHC 的影响；对含酸性基团的 VOCs 可以通过采用碱性溶剂提供吸收效果。
- 采用生物法进行处理时，应对物种可生化性、场地条件进行评估。

- 6.5.3.3 实验动物房废气应该单独收集并采取以下措施进行预处理。

- 采用化学氧化吸收技术、超重力吸收技术、活性炭纤维吸附及其组合技术进行处理。
- 涉及生物安全风险的排气，应采用紫外消毒、次氯酸钠等消毒剂进行处理。

- 6.5.3.4 当废气含有氯、溴、氟时，应该单独收集并采取以下措施进行预处理。

- 采用树脂或活性炭等吸附材料吸附、高效吸收、渗透膜分离技术进行预处理，处理后满足标准要求的，通过排气筒排放。
- 如果预处理后采用燃烧法处理，则氯、溴、氟的浓度应满足燃烧技术相关规范要求，减少腐蚀，避免二恶英的产生和排放。

6.5.4 污水处理站和固废贮存场所废气

6.5.4.1 发酵类制药、化学合成类制药、医药中间体制造的污水处理站、发酵菌渣、废液站等固体废物贮存场所废气可采用碱洗+氧化+水洗、吸附浓缩+燃烧处理技术。

6.5.4.2 中药类制药、提取类制造、生物工程类制造、混装制剂类制药的污水处理站、固体废物贮存场所的废气可以采用碱洗+氧化+水洗、碱洗+氧化+吸附、催化氧化处理技术、活性炭吸附技术、超重力吸收技术、生物法等技术及其组合技术。

6.5.4.3 根据 GB 18597 规定需要进行废气收集治理的危险废物贮存场所，可以采用活性炭吸附、吸收、生物法、光催化、等离子体等处理技术。

6.5.5 医药研发机构废气

6.5.5.1 医药研发机构应设置单独废气收集和排放系统；根据研发类型，分类收集，尽量减少排气筒的数量。

6.5.5.2 医药研发机构废气可根据研发机构规模和废气排放量选择合理的治理技术，一般可采用活性炭吸附、吸收、生物法、光催化、等离子体等处理技术。

6.6 恶臭污染治理技术选择

6.6.1 恶臭污染物的去除可采用吸收、吸附、光催化、等离子体、生物法及其组合技术。

6.6.2 为避免或减少燃烧法排气恶臭污染物的影响，可以采用吸收、吸附等技术进行后续处理；采用吸附法时应预先降低温度，以满足吸附工艺的要求。

6.6.3 中药制造中的废气排放宜采取化学氧化吸收、超重力吸收等技术。

6.7 非正常工况治理技术选择

6.7.1 开停车、检维修期间应制定废气治理方案，并报生态环境部门备案。

6.7.2 在确保安全生产的前提下，应错峰安排开停工及检维修计划，尽量避免在污染高发季集中开停车及检维修。

6.7.3 开停车、检维修期间吹扫气、放空气等废气应进入废气治理装置；废气治理系统无法运行时，应设置移动治理装置或者其他等效措施，确因安全等原因需进入火炬的，应设置监控措施，根据物料特性调整助燃气流量，确保充分燃烧。

6.7.4 VOCs 废气宜采用冷凝+吸附回收、燃烧、吸附浓缩+燃烧法进行处理，或者送工艺加热炉、锅炉、焚烧炉燃烧处理。

7 典型治理技术工艺设计要求

7.1 预处理工艺

7.1.1 预处理工艺应根据废气的成分、性质，以及对吸收、吸附、燃烧等主体工艺产生影响的污染物性质及含量进行选择。

7.1.2 废气中颗粒物浓度应不影响处理装置的运行，否则应采用过滤等方式进行预处理。原则上，进入转轮前颗粒物浓度应不超过 1 mg/m^3 ，进入过滤装置前后应装设压差计，当过滤层阻力超过规定值时，应及时清理或更换过滤材料。

7.1.3 进入吸附、吸收装置的废气温度宜控制在 40°C 以下，对于温度高于 40°C 以上的，宜采取降温措施。

7.1.4 进入吸附装置的废气相对湿度宜控制在 70% 以下，或绝对湿度在 2% (20°C 条件下水的饱和浓度)

以下，湿度高于设计要求时，宜采取除湿措施，且不宜采用升温降低相对湿度的措施。

- 7.1.5 废气中含有油雾、高沸点物质、易发生聚合反应、易使吸附剂性能退化的酸碱腐蚀性物质时，应进行预处理。
- 7.1.6 废气排放波动性比较大时，应设置吸附、吸收、缓冲罐等方式，降低废气排放的峰值；当废气污染物浓度超过爆炸下限 25%时，应该设置缓冲系统、补风系统；如果不具备条件，经过安全论证后可以控制其氧含量低于 5%。

7.2 除尘装置工艺设计

- 7.2.1 除尘装置的设计应满足 HJ/T 285、HJ/T 328、HJ/T 322、HJ/T 323、HJ 2529 的要求。
- 7.2.2 除尘系统设计应遵守 GB 15577、GB 50019、GBZ 1、HJ2000、HJ 2020、HJ 2028 中有关除尘系统的相关规定。
- 7.2.3 为避免避免设备进口处由于风速较高造成对滤料的高磨损区域，宜设置气流分布板。
- 7.2.4 袋式除尘器的过滤风速宜不高于 0.8 m/min，除尘器阻力宜不高于 1200Pa，漏风率宜不高于 2%；运行温度应不高于 250℃，且应高于烟气（酸）露点温度 15℃以上。
- 7.2.5 除尘系统的启动应先于工艺生产系统启动，工艺生产系统停机时除尘系统应至少延时 10 min 停机，应在停机前将滤袋和灰斗内的粉尘全部卸出。
- 7.2.6 干式除尘系统的导电部件应进行等电位连接，并可靠接地。
- 7.2.7 除尘系统排气筒的出口流速宜取 14 m/s~20 m/s。

7.3 冷凝装置工艺设计

- 7.3.1 冷凝回收装置排出的不凝尾气温度应低于废气中污染物的液化温度，若废气中有数种污染物，则不凝尾气的温度应低于主要污染物中液化温度最低的污染物的液化温度。
- 7.3.2 冷凝装置可采用列管式、板式、螺旋式等冷凝器。
- 7.3.3 设备主体采用碳钢、不锈钢材料，按 10 年使用寿命设计。
- 7.3.4 当有机物沸点较高时，可采用常温水作为冷凝介质；当有机物沸点较低时，冷凝介质宜使用低温水（冷冻水）或采用常温—低温水多级冷凝。
- 7.3.5 冷凝装置应配备智能控制系统，可以实时监测和调节温度、压力、流量等参数，自动优化冷凝过程，提高处理效率，并确保设备的稳定运行
- 7.3.6 管路应设置在线露点仪，对脱水进行监控，同时设置监控管路含氧，连锁制冷机组的开机保护。

7.4 吸附装置工艺设计

- 7.4.1 吸附装置可选用固定床式、转轮式，应根据废气的成分、浓度、性质和影响吸附过程的物质性质及含量等因素进行选择。
- 7.4.2 吸附装置工艺设计应符合 HJ/T 386、HJ 2026 的要求，当进口 NMHC 达到 1000 mg/m³ 以上时，废气净化效率不低于 90%。
- 7.4.3 固定床吸附装置吸附床层的气流速度根据吸附剂形态、废气浓度及治理要求而定。确保气体在吸附层的空塔停留时间不低于 2s；采用颗粒活性炭时气流速度宜低于 0.6 m/s，采用活性炭纤维时气流速度宜低于 0.15 m/s，采用蜂窝活性炭时气体流速宜低于 1.2 m/s，采用树脂时，气流速度宜低于 0.15 m/s。
- 7.4.4 转轮吸附装置各扇区气体设计流速宜低于 4 m/s，设计转速宜为 2~6 r/h。
- 7.4.5 吸附装置吸/脱附入口应设置必要的布风系统，保证气流均匀通过床层。

- 7.4.6 吸附床层的吸附剂用量应考虑废气处理量、污染物浓度、吸附剂的动态吸附量等因素确定。吸附剂动态吸附量根据实际工况由实验测试得到。
- 7.4.7 应定期对吸附材料动态吸附量进行检测，当动态吸附量降低至设计值的 80%时宜更换吸附材料或对吸附材料进行深度再生。
- 7.4.8 设备主体采用碳钢、不锈钢材料，按 10 年使用寿命设计。
- 7.4.9 固定床吸附装置用于吸附回收工艺时，吸附材料宜采用颗粒活性炭、活性碳纤维、树脂或其他适宜的专用吸附材料，工业有机废气治理的活性炭性能应满足 GB/T 7701.1、DB32/T 5030、HG/T 3922 的相关要求；用于吸附浓缩工艺时，吸附材料 BET 比表面积不应低于 $650 \text{ m}^2/\text{g}$ ；树脂的 BET 比表面积不小于 $1000 \text{ m}^2/\text{g}$ ，微孔提及不小于 0.4 mL/g ，总孔体积不小于 0.9 mL/g 。
- 7.4.10 转轮吸附装置的吸附材料宜采用蜂窝分子筛，分子筛的负载量应高于 70 kg/m^3 ，蜂窝体的孔密度 $180\sim 300 \text{ 孔/in}^2$ ，吸水率应低于 10%。
- 7.4.11 转轮吸附装置各扇区密封材料的耐温应高于 250°C ，转轮驱动电机采用防爆型电机。
- 7.4.12 吸附单元的压力损失宜低于 4.5 kPa 。吸附装置采用活性碳纤维吸附剂时，设计压降宜低于 4 kPa ；采用颗粒状活性炭、树脂吸附剂时，吸附单元的压力损失宜低于 4.5 kPa ；采用其他吸附剂时，设计压降宜低于 2.5 kPa 。
- 7.4.13 吸附剂再生过程工艺设计要求如下。
- 采用热空气再生时，采用蜂窝活性炭、颗粒活性炭、活性碳纤维、树脂的固定床吸附装置，脱附温度宜低于 120°C ；采用其他耐高温吸附材料的固定床吸附装置，可适当提高脱附温度；转轮吸附装置热空气脱附温度宜低于 220°C 。
 - 采用水蒸气再生时，蒸汽脱附温度宜控制在 $100\sim 140^\circ\text{C}$ ，脱附蒸汽供汽压力宜高于 0.2 MPa ；
 - 采用热氮气再生时，热气流脱附温度宜控制 $120\sim 200^\circ\text{C}$ ，其中树脂的固定吸附装置的脱附温度宜低于 150°C ，脱附氮气压力宜为 $0.05\sim 0.1 \text{ MPa}$ ，要求恒压设计。
 - 采用热真空脱附时，要确保阀门和吸附塔的漏气率较低。脱附温度应高于 60°C ，脱附绝压应低于 5 kPa 。破真空宜采用 99%纯度以上的氮气。
 - 固定床吸附装置单床脱附再生周期应考虑废气成分、脱附风量等因素确定，宜大于 4 h 。
 - 脱附后气流中有机物浓度应控制在其爆炸极限下限的 25%以下，或者氧气含量低于 5%以下。

7.5 吸收装置设计

- 7.5.1 吸收装置的设计应满足 HJ/T 387、HJ 2000 的要求。
- 7.5.2 吸收液优先选择低挥发性或者不挥发、具有高吸收能力、低毒性、低生物降解性或者不可生物降解和成本低、设备腐蚀性小的吸收剂。选择高沸点有机溶剂作为吸附剂时，应对有机溶剂对 NMHC 排放的影响。
- 7.5.3 根据污染物性质，可以选择过氧化氢、次氯酸钠、臭氧等作为氧化剂，提高吸收效果；也可以选择有机溶剂、表面活性剂、微乳液、离子液体吸收 VOCs。但需要考虑可能对 NMHC 的影响。
- 7.5.4 吸收装置的设计参数应该符合相关行业设计规范和以下设计要求。
- 填料塔、空塔气速控制在 $0.5\sim 1.2 \text{ m/s}$ ，筛板塔为 $1\sim 3.5 \text{ m/s}$ ，湍球塔为 $1.5\sim 6 \text{ m/s}$ ，鼓泡塔为 $0.2\sim 3.5 \text{ m/s}$ ，喷淋塔为 $0.5\sim 2 \text{ m/s}$ 。控制废气在设备中的停留时间不低于 0.5 s 。
 - 酸性废气一般使用 NaOH 等碱性溶液进行处理，NaOH 溶液的浓度一般保持在 2%~6%，pH 控制在 7~9；碱性废气一般使用硫酸等酸性溶液进行处理，pH 控制在 10~11。
 - 吸收净化装置本体主体的表面温度不高于 60°C 。

- 根据物料性质选择合理的液气比，实际操作液气比为最小液气比的 1.1~1.5 倍；一般液气比宜为 $2 \text{ L/m}^3 \sim 4 \text{ L/m}^3$ 。
 - 吸收装置的选择要考虑废气中油脂、悬浮物等可能容易黏附在填料表面对气流产生的影响。
- 7.5.5 吸收剂再生过程工艺设计要求如下。
- 通过加热、减压（汽提）或两者结合（热汽提）进行吸收剂再生时，形成高浓度 VOC 蒸汽（再冷凝回收），再生的吸收剂则循环使用。
 - 吸收较高沸点 VOCs 的吸收剂可采用蒸汽汽提和冷凝回收技术，吸收低沸点 VOCs 的吸收剂可采用真空减压汽提的技术再生。
 - 真空减压汽提根据 VOCs 物性确定，宜控制真空度在 -0.08 MPa ，温度控制在 60°C 。
 - 加热再生温度根据 VOCs 物性确定，宜控制温度不低于 250°C 。
- 7.5.6 处理酸性溶剂废气的宜选用 FRP（玻璃钢）或 PP（聚丙烯）材质塔体，处理二氯甲烷等强腐蚀性卤代烃等宜采用 316L 不锈钢材质。对法兰、密封件宜采用耐溶剂腐蚀的材料。

7.6 燃烧装置设计

- 7.6.1 燃烧装置可选用热力燃烧、蓄热燃烧、催化燃烧、蓄热催化燃烧方式，应根据废气的成分、浓度、性质和影响燃烧过程的物质性质及含量等因素进行选择。RTO、RCO 根据需要可采用两室或三室固定式设备，也可采用旋转式设备。采用两室 RTO、RCO 时，可考虑增加固定床捕集设施。
- 7.6.2 燃烧装置工艺设计应符合 HJ 1093、HJ 2027 及其他相关规范规定，净化效率应不低于 95%。
- 7.6.3 TO、RTO 燃烧室的运行温度和有机废气在燃烧室内的停留时间，应根据废气成分及所需净化率而定；运行温度符合如下规定。
- TO 的燃烧温度一般不低于 700°C ，停留时间一般应不低于 0.75 s 。
 - RTO 的燃烧温度一般不低于 760°C ，停留时间一般应不低于 0.75 s 。
 - 以电驱动的 RTO 的燃烧温度一般不低于 700°C ，停留时间一般应不低于 0.75 s 。
 - 处理苯系物时，燃烧温度一般不低于 820°C ，停留时间一般应不低于 0.75 s 。
- 7.6.4 RTO、RCO 的热回收效率应考虑废气成分及浓度、余热回用需求，一般不低于 90%。根据热回收效率要求、蓄热体结构性能、系统压降等因素，计算确定蓄热室的结构和尺寸。蓄热室截面风速宜小于 2 m/s ，应通过优化蓄热体结构、堆填方式等实现蓄热室气流均匀分布。
- 7.6.5 TO、RTO 燃烧室的运行温度和有机废气在燃烧室内的停留时间，应根据废气成分及所需净化率而定；运行温度符合如下规定。
- 7.6.6 固定式 RTO 换向阀的换向时间宜为 $60 \sim 180 \text{ s}$ ，旋转式 RTO 气体分配器的换向时间宜为 $30 \sim 120 \text{ s}$ 。RTO 进出口气体温差宜小于 60°C 。
- 7.6.7 CO、RCO 的运行温度、设计空速应考虑废气成分、催化剂种类等因素确定。运行温度宜为 $250 \sim 500^\circ\text{C}$ ，设计空速宜为 $10\,000 \sim 40\,000 \text{ h}^{-1}$ 。
- 7.6.8 系统压力损失受气流速度、蓄热体/催化剂结构形式等因素影响，CO 的设计压降宜低于 2 kPa ，RTO 和 RCO 的设计压降宜低于 3 kPa 。
- 7.6.9 辅助燃料应优先选用电、天然气、液化气等清洁燃料，使用甲醇等燃料时，应监控甲醇等燃料特征污染物的泄漏和排放。
- 7.6.10 设备主体采用碳钢、不锈钢材料，按 10 年使用寿命设计。
- 7.6.11 燃烧器应符合 GB/T 19839 的相关规定，优选低氮燃烧器。
- 7.6.12 换向阀宜采用提升阀、旋转阀、蝶阀等，其材质应具有耐磨、耐高温、耐腐蚀等性能，适应频繁切换，漏风率应低于 0.2%。

- 7.6.13 催化剂应符合 HJ/T 389 中关于催化剂性能的规定。
- 7.6.14 换热器宜采用列管式、板式，其材质应具有耐高温、耐腐蚀等性能。
- 7.6.15 蓄热体宜选用蜂窝式、组合式等规整材料，采用的莫来石、堇青石、石英陶瓷等材质的性能应符合 JC/T 2135 的相关规定。蓄热体比热容应高于 $750 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ ，短时间可承受 1200°C 的高温冲击，使用寿命大于 40 000。
- 7.6.16 蓄热体支架（炉栅）应采用高强度、防腐耐温材料。
- 7.6.17 燃烧室内衬耐火绝热材料应选用陶瓷纤维，容重应高于 $220 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。内衬设计应符合 HG/T 20642 的相关规定。
- 7.6.18 保温材料宜采用硅酸铝、玻璃/陶瓷纤维、岩棉等材质，性能应符合 GB/T 16400、GB/T 3003、GB/T 19686 等相关规定。

7.7 生物净化工艺设计要求

- 7.7.1 生物净化工艺主要有生物过滤池净化工艺、生物滴滤池、生物洗涤塔以及生物土壤池等工艺。
- 7.7.2 生物洗涤塔的设计参照 7.5 的要求设计。
- 7.7.3 生物过滤池、生物滴滤池主要适用于恶臭气体需高空排放或企业需采用箱体设备的情况。生物土壤池工艺主要适用于环境景观要求较高，或要求恶臭气体不得通过高空排放的情况。
- 7.7.4 生物过滤池、生物滴滤池应密闭防腐，设置人孔及与之配套的爬梯便于维修，底部应设置带有水封的排空管道
- 7.7.5 生物滤池应满足以下设计要求。
 - 气体停留时间应不小于 15 s。
 - 应及时补水和排水，满足喷淋水量和水质的设计要求。
 - 生物过滤池填料层高宜为 1 m~2 m。
 - 生物滤池的填料材质优先选择火山岩、陶粒等有机与无机介质组成的复合材料，使用树皮、果壳时，应采取措施避免塌陷、腐烂等产生的影响。
 - 生物降解段填料的比表面积应与处理对象浓度相匹配，通常宜不小于 $350 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 。
 - 空塔气速宜不大于 400 m/h。
- 7.7.6 生物滴滤池应满足以下设计要求。
 - 气体停留时间应不小于 15 s。
 - 填料层高宜不高于 3 m。
 - 应及时补水和排水，满足喷淋水量和水质的设计要求。
 - 生物滴滤池喷淋循环液的 pH 值宜为 6~9，使用嗜酸菌群可为 1~4。
 - 生物降解段填料的比表面积应与处理对象浓度相匹配，通常宜不小于 $350 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 。
- 7.7.7 生物土壤池应满足以下设计要求。
 - 气体停留时间应不小于 40 s。
 - 生物土壤池填料层高宜为 1 m~2 m。
 - 生物降解段填料的比表面积应与处理对象浓度相匹配，通常宜不小于 $350 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 。
 - 喷淋液 pH 值为 6~9，使用嗜酸菌群可为 1~4。

7.8 其他净化工艺设计要求

- 7.8.1 等离子体、光催化以及紫外光解等除臭技术应合理设计停留时间。
- 7.8.2 进入等离子体、光催化以及紫外光解等除臭技术的废气应避免油污、颗粒物等的影响。

7.9 二次污染控制

- 7.9.1 TO、RTO 尾气应该对氮氧化物进行监测，达到国家和地方排放标准的要求。处理气体含有残留氯化物时，应对二恶英进行检测，达到国家和地方排放标准的要求；在条件允许的情况下，宜采用吸附材料对二恶英进行处理。
- 7.9.2 废气预处理或后处理过程产生的废水、冷凝回收单元产生的废水等，宜纳入厂区污水处理站进行集中处理，当不具备集中处理条件时，应单独处理并满足达标排放要求。
- 7.9.3 吸附剂再生完成后，吸附装置降温除湿过程产生废水、废气需达标排放或经过再次处理后达标排放，不产生二次污染。
- 7.9.4 废吸附剂、废催化剂、废过滤材料等危险废物贮存应符合 GB 18597 的相关规定。一般工业固体废物贮存应符合 GB 18599 的相关规定。
- 7.9.5 含 VOCs 废料（渣、液）应密闭包装，盛装过 VOCs 物料的废包装容器应加盖密闭，防止 VOCs 和恶臭污染。
- 7.9.6 噪声控制应符合 GB 12348 和 GB/T 50087 的规定。

7.10 风机、管道及其他

- 7.10.1 风机宜选用高效风机，风机的风量、风压应留有适当裕量，且符合 JB/T 10563 的相关规定。
- 7.10.2 接触腐蚀性气体、水蒸气的设备、管道和阀门等，应采用防腐材料及措施。
- 7.10.3 燃烧设备、吸附设备、冷凝设备、换热器、过滤器、平台、扶梯等钢制设备应符合 GB/T 3274 及 GB/T 3077 的规定。

7.11 安全控制措施

- 7.11.1 治理设施的设计需要开展安全评估，符合 GB 5083、GB/T 12801、GB/T 15577、GB/T 15605 和 GB/T 42300 的要求。
- 7.11.2 收集和治理工程应纳入全厂风险应急预案，治理工程应有事故自动报警装置，并符合安全生产、事故防范的相关规定。
- 7.11.3 治理工程与主体生产装置之间的管道系统应安装阻火器或防火阀，阻火器应符合 GB/T 13347 的相关规定，防火阀应符合 GB 15930 的相关规定。
- 7.11.4 治理工程进风、排风管道采用金属材质时，应采取法兰跨接、系统接地等措施，防止静电产生和积聚。
- 7.11.5 除尘器应设置安全泄爆装置、防静电积聚措施。
- 7.11.6 吸/脱附装置应设置温度指示、超温报警及应急处理系统。固定床炭层应设置多支热电偶/阻，宜设有二氧化碳/氮气/消防水保护系统；转轮各分区进出口应设有热电偶/阻，脱附区出口宜设有二氧化碳/氮气保护系统。
- 7.11.7 吸附剂再生时，当吸附装置内的温度超过 7.6.3 条规定的温度时，应能自动报警并立即终止再生操作、启动降温措施。
- 7.11.8 燃烧装置或其连接的管道应设置防爆泄压装置。燃烧装置应具有过热保护功能。燃烧装置主体的表面温度应低于 60°C（部分热点除外），并有明显安全标识。
- 7.11.9 燃烧装置应设有安全可靠的火焰控制系统、温度监测系统、压力控制系统等。
- 7.11.10 燃烧器点火操作应符合 GB/T 19839 的相关规定。燃料供给系统应设置高低压保护和泄漏报警装置。采用液化气、柴油等作为燃料的，其储存和使用应符合安全规定。
- 7.11.11 沼气利用时制定安全管理制度。在消化池、储气柜、脱硫间周边划定重点防火区，并配备消

防安全设施；非工作人员未经许可不得进入厌氧消化管理区内；在可能的泄漏点设置甲烷浓度超标及氧亏报警装置。

- 7.11.12 风机、电机和置于现场的电气仪表等设备的防爆等级应不低于现场防爆级别。
- 7.11.13 压缩空气系统应设置低压保护和报警装置。
- 7.11.14 治理工程的用电安全应符合 GB/T 13869、AQ 3009 等相关规定。治理工程的电源系统可直接由生产主体工程配电系统接引，中性点接地方式应与生产主体工程一致。整套装置应具备短路保护和接地保护功能，接地电阻应小于 $4\ \Omega$ 。
- 7.11.15 室外污染治理设施应安装符合 GB 50057 规定的避雷装置。

8 环境管理措施

8.1 总体要求

- 8.1.1 企业应建立、健全和落实环境管理制度，主要包括环境保护责任制度、污染治理设施运行维护及岗位培训制度、无组织排放控制措施管理制度、非正常情况管理制度、自行监测制度、环境管理台账及记录制度和排污许可证执行报告制度。
- 8.1.2 企业应建立完善非正常生产情况下的应急预案制度。配备人力、设备、通讯等资源，预留应急处置的条件。未经当地生态环境主管部门批准，处理设施不得停止运行。由于紧急事故造成设施停止运行时，应立即报告当地生态环境主管部门。
- 8.1.3 企业应建立治理工程相关的各项运行、维护规程和管理制度，按规程进行操作，定期对各类设备、电气仪表、建（构）筑物等进行检查维护，确保治理工程稳定可靠运行。
- 8.1.4 企业应根据实际情况优先采用污染预防技术，若仍无法稳定达标排放，应采用适合的末端治理技术加强生产设备的使用、维护和维修管理，保证设备正常运行。持续开展清洁生产，建立健康安全环境管理体系。
- 8.1.5 废气收集和治理工程应急管理应纳入企业应急管理系统，分析可能的事故风险，制订并不断完善应急预案，配备人力、设备、通讯等资源，具备相应的应急处置能力。
- 8.1.6 所有治理设施应制定操作规程，明确各项运行参数，实际运行参数应与操作规程保持一致。进料泵、整粒筛分机、破碎机、反应釜、分离机、磨粉机等工艺设备和废气治理设施可按 DB32/T 4350—2022 设定工况用电在线监测系统。

8.2 运行和监控措施

8.2.1 工艺过程控制

- 8.2.1.1 治理工程应先于产生有机废气的生产工艺设备开启，后于生产工艺设备停机，实现与生产工艺设备的连锁控制。
- 8.2.1.2 治理工程应在满足设计工况的条件下运行，不得超负荷运行。治理工程应与生产工艺设备同步运行。废气收集系统、处理设备等发生故障或检修时，对应的生产工艺设备应停止运行，待检修完毕后同步投入使用。
- 8.2.1.3 应对治理工程的废气流量、温度、湿度、压力、运行时间、治理设备关键运行参数等进行实时检测，并在中控室集中显示。

8.2.2 监测与监控参数

- 8.2.2.1 治理工程应在进气管道、排气管道的合适位置处设置永久性采样口、采样测试平台，符合排放标准和其他相关技术规范的要求。
 - 8.2.2.2 污染物排放的监测分析和在线监测等应符合排放标准和其他相关技术规范的要求。
 - 8.2.2.3 热力燃烧设备应检测记录的关键参数：废气进气温度、炉膛温度、出气温度、燃料消耗量等。
 - 8.2.2.4 蓄热燃烧设备应检测记录的关键参数：废气进气温度、炉膛温度、出气温度、蓄热体更换时间、加热器开关状态、换向阀门换向时间、各蓄热床层状态等。
 - 8.2.2.5 催化燃烧/蓄热催化燃烧设备应检测记录的关键参数：废气进气温度、进催化剂床层温度、催化剂床层后温度、催化剂更换时间、加热器开关状态等。
 - 8.2.2.6 固定床吸附设备应检测记录的关键参数：废气进气温度、各床层运行状态、炭层温度、脱附温度、运行时间（活性炭更换时间、转入吸附的时间、转入脱附的时间）、床层压差等。
 - 8.2.2.7 转轮吸附设备应检测记录的关键参数：废气进气温度、吸附区出口温度、冷却区出口温度、脱附温度、脱附区出口温度、吸附区及脱附区压差、驱动电机频率等。
 - 8.2.2.8 冷凝设备应检测记录的关键参数：冷凝介质进出口温度、废气排放温度等。
 - 8.2.2.9 吸收装置应该检测记录的关键参数：液气比、pH 值、流量；解吸装置应记录真空度（压力）、解析温度等。
- 8.2.3 维护与保养**
- 8.2.3.1 治理工程的维护保养应纳入全厂的维护保养计划中，做好相关记录。
 - 8.2.3.2 对所有治理设施的计量装置，如 pH 计、密度计、液位计等要定期校验和比对。定期对在线监控设备进行比对校核。对所有机电设备，如风机、泵、电机等要定期检修、维护。
 - 8.2.3.3 维护人员应根据计划定期检查、维修或更换必要的部件和材料。

附 录 A
(资料性)
常见医药中间体品种

表A.1给出了常见的医药中间体品种。

表A.1 常见的医药中间体品种

序号	中间体品种	序号	中间体品种
1	17 α -羟基黄体酮	33	倍他环氧水解物
2	2,3'-二-O-乙酰基-5'-脱氧-5-氟胞苷	34	布他磷
3	2'4-二氟硝基苯	35	拆分剂,包括但不限于(+)-酒石酸、(+)-樟脑酸、(+)-樟脑-10-磺酸、L-(+)-甘氨酸等;常用的碱性拆分剂:(-)-马钱子碱、(-)-番木鳖碱、D-(-)-麻黄碱、(+或-)- α -苯乙胺等
4	3,4-环氧环己基甲基-3,4-环氧环己基甲酸酯	36	醋酸环丙孕酮开环物
5	3-甲基黄酮-8-羧酸	37	醋酸环丙孕酮乙酰化精品
6	4'-甲基联苯-2 甲酸甲酯	38	醋酸可的松
7	5,7-二羟基黄酮	39	醋酸四烯物
8	6-氨基青霉烷酸(6-APA)	40	对甲氧乙酰苯酚
9	7 β -氨基-7 α -甲氧基-3[(1-甲基-1H-四唑-5-基)硫甲基]-头孢-3-烯-4-羧酸二苯甲酯(7-MAC)	41	对羟基苯乙醇
10	7-氨基-3-氯-3-头孢烯-4-羧酸(7-ACCA)	42	恩拉霉素
11	7-氨基去乙酰氧基头孢烷酸(7-ADCA)	43	二乙胺基乙硫醇
12	7-氨基头孢三嗪(7-ACT)	44	发酵虫草菌粉
13	7-氨基头孢烷酸(7-ACA)	45	芳樟醇
14	7-苯乙酰胺-3-氯甲基头孢烷烯酸对甲氧苯酯	46	非马酰胺
15	ABP 成品	47	氟氯苯乙酮
16	D-核糖	48	氟氯西林酸
17	D 酯	49	甘草次酸
18	EC-025	50	甘草酸
19	L-阿拉伯糖	51	甘草酸单铵盐
20	L-脯氨酸	52	肝素钠粗品(亿单位)
21	M-A-A-A 凝胶	53	格氏物
22	PA	54	古龙酸
23	S-氨基物	55	骨肽提取物
24	VC 颗粒	56	红霉素肠
25	β -胸苷	57	红色素
26	阿洛西林酸	58	胡椒环
27	阿佐塞米磺胺物	59	环丙羧酸
28	埃索美拉唑镁二水	60	甲醇钠
29	氨基酸	61	甲酯胺化物
30	胺化物	62	精胍
31	胞嘧啶	63	克拉维酸叔辛胺
32	保护基溴化物	64	醌 NPQ

表A.1 常见的医药中间体品种（续）

序号	中间体品种	序号	中间体品种
65	拉氧头孢那中间体（M3）	102	头孢哌酮酸
66	拉氧头孢酸	103	头孢曲松粗品
67	倍他羟化物	104	头孢曲松粗盐
68	兰索拉唑肠溶微丸	105	头孢曲松钠粗品
69	联苯溴化物	106	头孢噻吩酸
70	邻苯二甲酸二乙酯	107	头孢噻肟酸
71	硫酸二甲酯	108	头孢他啶中间体
72	洛索洛芬酸	109	头孢西丁酸
73	氯吡格雷中间体	110	头孢唑林酸
74	氯代双环羧酸酯	111	头孢唑肟酸
75	氯钾胺	112	托比醋
76	霉菌脱氢物	113	脱乙酰-7-氨基头孢烷酸（D-7ACA）
77	美罗培南中间体	114	烷基烯酮二聚体
78	美罗培南粗品	115	维生素 C 磷酸酯
79	美洛西林酸	116	苄甲氧羟基-L-谷氨酸
80	柠檬醛	117	苄甲氧羟基-L-酪氨酸
81	泮托拉唑钠肠溶微丸	118	苄甲氧羟基-L-丝氨酸
82	泮托拉唑中间体	119	苄甲氧羟基-L-缬氨酸
83	培美曲塞二钠	120	硝化物
84	培南侧连	121	小牛血去蛋白提取物
85	普氏脱溴物	122	辛氟林盐酸盐
86	羟邓盐	123	胸腺肽中间体
87	羟混苯	124	溴盐
88	羟基苯乙酮	125	盐酸黄酮哌酯
89	羟酸甲酯	126	盐酸去甲金霉素
90	青霉素工业盐	127	盐酸头孢吡肟中间体
91	青霉素钾工业盐	128	盐酸头孢替安粗品
92	氰二酯	129	依普利酮中间体
93	去氧孕烯	130	乙酰左旋肉碱盐酸盐
94	山梨醇	131	原甲酸三乙酯
95	叔丁基溴化物	132	皂素
96	舒巴坦钠	133	长春西汀中间体
97	舒巴坦酸	134	中链甘油三酸酯
98	双烯	135	左旋肉碱
99	头孢氨苄中间体	136	左旋肉碱富马盐酸
100	头孢呋辛酸	137	左旋肉碱酒石酸盐
101	头孢米诺钠粗品	138	左旋肉碱盐酸盐

附 录 B
（资料性）
溶剂选择的导则

B.1 典型有机溶剂的最大增量反应活性(MIR)值

表B.1 给出了典型有机溶剂的MIR值。

表B.1 典型 VOCs 的 MIR 值

单位为吨臭氧/吨溶剂

序号	中文名字	MIR ^a	序号	中文名字	MIR
1	苯	0.7	34	间乙基甲苯	7.4
2	甲苯	4.0	35	对乙基甲苯	4.4
3	乙苯	3.0	36	α -萜烯	4.29
4	邻二甲苯	7.6	37	β -萜烯	3.28
5	间二甲苯	7.8	38	双戊烯	3.99
6	对二甲苯	7.8	39	乙醇	1.69
7	1,3,5-三甲苯(均三甲苯)	11.8	40	正丙醇	2.74
8	1,2,3-三甲苯(连三甲苯)	12.0	41	异丙醇	0.71
9	1,2,4-三甲苯(偏三甲苯)	8.9	42	仲丁醇	1.60
10	甲醇	0.71	43	异丁醇	2.24
11	乙二醇	3.36	44	1,2-丙二醇	2.75
12	甲乙酮(丁酮)	1.49	45	二丙酮醇	0.68
13	甲基异丁基酮(4-甲基-2-戊酮)	4.31	46	丙酮	0.43
14	异佛尔酮	--	47	甲基正戊基酮	2.80
15	乙酸乙酯	0.64	48	二异丁基酮	2.94
16	乙酸正丁酯	0.89	49	乙酸甲酯	0.07
17	二氯甲烷	0.07	50	乙酸正丙酯	0.87
18	1,1,1-三氯乙烷	0.00	51	乙酸异丙酯	1.12
19	2-硝基丙烷	16.16	52	乙酸异丁酯	0.67
20	乙二胺	--	53	乙酸戊酯	0.96
21	苯乙烯	1.95	54	乙酸己酯	0.87
22	α -氰基丙烯酸甲酯	--	55	乙酸庚酯	0.73
23	甲基丙烯酸甲酯	15.84	56	乙二醇二乙酸酯	0.72
24	甲基丙烯酸	18.78	57	乳酸乙酯	2.71
25	丙烯酸甲酯	12.24	58	碳酸二甲酯	0.06
26	丙烯酸乙酯	8.78	59	乙二醇甲醚乙酸酯	1.18
27	苯酚	1.82	60	乙二醇丁醚乙酸酯	1.67
28	甲醛	8.97	61	丙二醇甲醚乙酸酯	2.62
29	甲苯-2,4-二异氰酸酯	0.00	62	二乙二醇乙醚乙酸酯	1.50
30	环己酮	1.61	63	二乙二醇丁醚乙酸酯	1.38
31	正丁醇	3.34	64	对氯三氟化苯(对氯三氟甲苯)	0.11
32	间二乙基苯	7.1	65	甲基丙烯酸异丁酯	8.99
33	对二乙基苯	4.4	66	甲基丙烯酸正丁酯	9.09

^a MIR 来自《大气污染源优先控制分级技术指南(试行)》和文献,不断更新中,可选择更新的权威数据。

B.2 典型有机溶剂的光化学臭氧生成潜势(POCP)指数

典型有机溶剂的 POCP 值如表 B.2 所示。

表B.2 典型 VOCs 的 POCP 值

序号	中文名字	CAS	POCP 值	序号	中文名字	CAS	POCP 值
----	------	-----	--------	----	------	-----	--------

1	苯	71-43-2	33	30	甲醛	50-00-0	55
2	甲苯	108-88-3	77	31	环己酮	108-94-1	53
3	乙苯	100-41-4	81	32	正丁醇	71-36-3	63
4	邻二甲苯	95-47-6	83	33	间乙基甲苯	620-14-4	99
5	间二甲苯	108-38-3	109	34	邻乙基甲苯	611-14-3	85
6	对二甲苯	196-42-3	95	35	对乙基甲苯	622-96-8	94
7	1,3,5-三甲苯	108-67-8	130	36	乙醇	64-17-5	45
8	1,2,3-三甲苯	526-73-8	125	37	异丁醇	78-83-1	59
9	1,2,4-三甲苯	95-96-6	132	38	异丁醇	78-83-1	59
10	甲乙酮(丁酮)	78-93-3	51	39	3-甲基戊烷	96-14-0	66
11	甲基异丁基酮	108-10-1	84	40	异丁烯	9003-27-4	70
12	乙酸乙酯	141-78-6	33	41	戊醛	110-62-3	89
13	乙酸正丁酯	123-86-4	51	42	戊烷	109-66-0	62
14	二氯甲烷	75-09-2	3	43	戊烯	109-67-1	104
15	乙醛	75-07-0	65	44	丙醛	123-38-6	76
16	乙酸	64-19-7	16	45	丙烷	74-98-6	41
17	苯甲醛	100-52-7	-6	46	2-丙醇	67-63-0	22
18	正丁烷	106-97-8	60	47	丙烯	115-07-1	108
19	异丁烷	72-28-5	43	48	丙酸	75-98-9	4
20	丁烯	106-98-9	113	49	丙苯	103-65-1	71
21	丁二醇	11-76-2	63	50	异丁醇	78-83-1	59
22	氯乙烯	75-01-4	27	51	己烷	110-54-3	65
23	环己烷	110-82-7	60	52	异戊烷	78-78-4	60
24	异丁醛	78-84-2	86	53	2-甲基戊烷	107-83-5	78
25	癸烷	124-18-5	68	54	一氧化氮	15917-77-8	-0.46~4.09
26	庚烷	142-82-5	77	55	二氧化氮	10102-44-0	-0.06~3.8
27	苯乙烯	100-42-5	8	56	二氧化硫	7446-09-5	0.048
28	丙酮	67-64-1	18	57	一氧化碳	630-08-0	0.027
29	乙酸甲酯	79-20-9	5				

B.3 典型有机溶剂的嗅阈值

表B.3 给出了典型的有机溶剂的嗅阈值。

表B.3 典型有机溶剂的嗅阈值

污染物	嗅觉阈值 (ppm)	气味特点	污染物	嗅觉阈值 (ppm)	气味特点
甲硫醇	0.000067	煤气味、烂菜心气味	二甲苯	0.041~0.38	有芳香气味
乙硫醇	0.000087	具有强烈的持久性刺激性蒜臭味	甲苯	0.33	有类似苯的芳香气味
甲硫醚	0.002	海鲜腥味	乙苯	0.035	具有芳香气味
二甲二硫	0.0022	洋葱味、腐烂洋白菜味道	苯酚	0.0056	特殊的臭味和燃烧味

表B.3 典型有机溶剂的嗅阈值（续）

VOCs	嗅觉阈值 (ppm)	气味特点	VOCs	嗅觉阈值 (ppm)	气味特点
二硫化碳	0.17	类似氯仿的味道	醋酸	0.006	刺激性气味
苯乙烯	0.034	塑料味	丙酸	0.0057	稍有刺鼻的恶臭气味
乙酸乙酯	0.84	凤梨味	正丁酸	0.0013	汗臭、酸臭
乙酸丁酯	0.0079	水果香味	异丁酸	0.0031	酸臭
甲基乙基酮	0.17	类似丙酮气味	正戊酸	0.0025	汗臭、酸臭
甲基异丁基酮	0.11	令人愉快酮样香味	异戊酸	0.00016	汗臭
噻吩	0.00056	有类似苯的芳香气味	正己酸	0.0006	不愉快的椰肉油气味
四氢噻吩	0.00062	具有强烈的不愉快气味	异己酸	0.0004	浓重的干酪样香气
乙醛	0.0015 ^②	辛辣刺激气味	甲胺	0.035	有似氨的气味
丙烯醛	0.0036	强烈刺激性气味	二甲胺	0.033	具有鱼腥气味
丙醛	0.001	窒息性刺激气味	三甲胺	0.000032	鱼腥味
正丁醛	0.00067	窒息性醛味	二乙胺	0.048	有强烈氨臭
异丁醛	0.00035	刺激性气味	三乙胺	0.0054	有强烈氨的气味
正戊醛	0.00041	刺激性气味	乙酸甲酯	1.7	有芳香气味
异戊醛	0.0001	似苹果香的刺鼻气味	乙酸乙酯	0.87	有水果香味
正己醛	0.00028	刺激性气味	乙酸正丙酯	0.24	带有一种强烈的气味
正庚醛	0.00018	刺激性的果子般的气味	乙酸异丙酯	0.16	带有一种水果的气味
正辛醛	0.00001	水果香味	乙酸正丁酯	0.016	有愉快水果香味
正壬醛	0.00034	尖锐的蜜蜡花香气	乙酸异丁酯	0.008	有水果香味
正癸醛	0.0004	稀释时有类似甜橙油和玫瑰似的强烈香气	乙酸仲丁酯	0.0024	有水果香味
丙烯酸甲酯	0.0035	有辛辣气味	乙酸叔丁酯	0.071	带有一种温和气味
丙烯酸乙酯	0.00026	有辛辣的刺激气味	乙酸正己酯	0.0018	令人愉快的水果香气和梨似的酸甜味道
丙烯酸正丁酯	0.00055	有强烈的水果香味	甲乙酮	0.44	类似丙酮气味
丙烯酸异丁酯	0.0009	刺激性芳香	N,N-二甲基甲酰胺	1.8	有鱼腥味
甲基丙烯酸甲酯	0.21	具有强辣味	N,N-二甲基乙酰胺	0.76	微氨气味

B.4 溶剂选择的原则

表B.4给出了溶剂选择导则的指标及等级。

表B.4 溶剂选择导则的指标及等级

一级指标	二级指标	判别原则
安全性	易燃性	根据《化学品分类和危险性公示通则》(GB13690-2009)分级。
	静电	等级为1或者10, 取决于材料是否能累积静电, 一般以检测为准, 或者基于电阻系数判断。
健康		分级基于暴露可能性, 通过计算蒸汽危害等级估算: 20℃时, 饱和浓度除以职业暴露限值进行分类。
环境	空气影响	通常考虑5个独立因子组成, 包括长期环境评价等级(EAL)、VOCs指令影响、光解率、光化学臭氧生成潜势(POCP)及潜在异味。
	潜在VOCs	基于溶剂在20℃时的蒸汽压, 评定可能的量级。
	水体影响	根据毒性标准、生物可降解性及生物累积可能性(基于辛醇/水分配系数估算)判断。
	生物处理装置潜在负荷	估计溶剂对生物处理设施的运行影响。
	循环利用	评价溶剂回收的潜在难易程度。
	焚烧	溶剂焚烧的关键特性是燃烧性、水溶性, 以及卤素、氮和硫的含量。

附录 C
(资料性)
综合效益评价技术方法

C.1 综合效益评价方法组成

C.1.1 跨介质效应由人体健康影响潜势 (E_1)、全球变暖潜势 (E_2)、生物毒性生成潜势 (E_3)、酸雨潜势 (E_4)、富营化潜势 (E_5)、臭氧损耗潜势 (E_6)、光化学臭氧生成潜势 (E_7) 和光化学颗粒物生成潜势 (E_8) 等8个方面组成。

C.1.2 核算治理技术前后C.1.1中七个指标的变化,按照公式(C.1)计算。

$$\Delta E = E_{before} - E_{after} + E_{secondary} \dots\dots\dots (C.1)$$

式中:

- ΔE ——治理的净效益;
- E_{before} ——治理前的跨介质效应;
- E_{after} ——治理后的跨介质效应;
- $E_{secondary}$ ——治理过程电力消耗产生的污染物的跨介质效应。

C.1.3 当 ΔE 不低于0,则表示综合效益为正效益,否则为负效益。

C.2 指标的含义和计算方法

C.2.1 人体健康影响潜势

C.2.1.1 人体健康影响潜势 (HTPs) 用来表征化学物质对人体的毒性影响,采用 HTPs 用千克铅当量来表示,具体计算公式见 (C.2)

$$E_1 = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{M_i}{Toxic_i} \dots\dots\dots (C.2)$$

式中:

- E_1 ——人体健康潜势,单位为千克铅当量 (kgPb);
- M_i ——污染物i的排放量,单位为千克 (kg);
- $Toxic_i$ ——污染物i的毒性因子,单位为无量纲;
- n ——污染物数量,单位为个。

C.2.1.2 污染物的毒性因子优先选择我国报道的毒性因子,缺失值可参考附录 D.1 选择,附录 D.1 没有列出的,暂不考虑纳入评价。

C.2.2 全球变暖潜势

C.2.2.1 全球变暖直接潜势用来表征化学物质对全球气候变暖的直接贡献潜力,采用 1kg 某种温室气体全球变暖的贡献与排放 1kg CO₂ 对全球气候变暖贡献相比而得到了相对能力的指数。具体计算公式见 (C.3)。

$$E_2 = \sum_{i=1}^n (GWP_i \times M_i) \dots\dots\dots (C.3)$$

式中:

E_2 ——全球变暖直接潜势，单位为千克二氧化碳当量（ kgCO_2 ）；

M_1 ——污染物*i*的排放量，单位为千克（ kg ）；

GWP_i ——污染物*i*的全球变暖直接潜势因子，单位为千克二氧化碳当量每千克污染物排放量（单位为 kgCO_2/kg 污染物排放量）；

n ——污染物数量，单位为个。

C. 2. 2. 2 污染物的全球变暖直接潜势因子优先选择我国报道的毒性因子，缺失值可参考附录 D. 2 选择，附录 D. 2 没有列出的，暂不考虑纳入评价。

C. 2. 3 生物毒性潜势

C. 2. 3. 1 生物毒性潜势用来表征化学物质对水生环境中动植物的毒性效应。具体计算公式见（C. 4）。

$$E_3 = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{M_i}{PNEC_i} \times 10^6 \dots\dots\dots (C. 4)$$

式中：

E_3 ——生物毒性潜势，单位为立方米（ m^3 ）；

M_1 ——污染物*i*的排放量，单位为千克（ kg ）；

$PNEC_i$ ——污染物*i*的预期无影响浓度，单位为毫克每升（ mg/L ）；

n ——污染物数量，单位为个。

C. 2. 3. 2 污染物的预期无影响浓度优先选择我国报道的健康数据库，我国没有报道数据的，可以选择附录 D. 3 中的数值。

C. 2. 4 酸雨潜势

C. 2. 4. 1 酸雨潜势用来表征化学物质对酸雨生成的贡献，以二氧化硫当量来表征。具体计算公式见（C. 5）。

$$E_4 = \sum_{i=1}^n (AP_i \times M_i) \dots\dots\dots (C. 5)$$

式中：

E_4 ——酸雨潜势，单位为千克二氧化硫当量（ kgCO_2 ）；

M_1 ——污染物*i*的排放量，单位为千克（ kg ）；

AP_i ——污染物*i*的酸雨潜势因子，单位为千克二氧化硫当量每千克污染物排放量（单位为 kgSO_2/kg 污染物排放量）；

n ——污染物数量，单位为个。

C. 2. 4. 2 污染物的酸雨潜势因子优先选择我国报道的健康数据库，我国没有报道数据的，可以选择附录 D. 4 中的数值。

C. 2. 5 水体富营养化潜势

C. 2. 5. 1 水体富营养化潜势用来表征化学物质对水体富营养化生成的贡献，以磷酸盐离子当量来表征。具体计算公式见（C. 6）。

$$E_5 = \sum_{i=1}^n (EUP_i \times M_i) \dots\dots\dots (C. 6)$$

式中：

E_5 ——水体富营养化潜势，单位为千克磷酸盐离子当量（ kgPO_4^{3-} ）；

M_1 ——污染物*i*的排放量，单位为千克（ kg ）；

EUP_i ——污染物*i*的水体富营养化潜势因子，单位为千克磷酸盐离子当量每千克污染物排放量（单位为 $kgPO_4^{3-}/kg$ 污染物排放量）；

n ——污染物数量，单位为个。

C.2.5.2 污染物的水体富营养化潜势因子优先选择我国报道的健康数据库，我国没有报道数据的，可以选择附录 D.5 中的数值。

C.2.6 臭氧消耗潜势

C.2.6.1 臭氧损耗潜势用来表征化学物质对臭氧耗竭的贡献，以 CFC-11 当量来表征。具体计算公式见 (C.7)。

$$E_6 = \sum_{i=1}^n (ODP_i \times M_i) \dots\dots\dots (C.7)$$

式中：

E_6 ——臭氧损耗潜势，单位为千克 (kg)；

M_i ——污染物*i*的排放量，单位为千克 (kg)；

ODP_i ——污染物*i*的臭氧损耗潜势，单位为毫克每升 (mg/L)；

n ——污染物数量，单位为个。

C.2.6.2 污染物的臭氧损耗潜势优先选择我国报道的健康数据库，我国没有报道数据的，可以选择附录 D.6 中的数值。

C.2.7 光化学臭氧生成潜势

C.2.7.1 光化学臭氧生成潜势用来表征化学物质对臭氧生成的贡献，以臭氧量来表征。具体计算公式见 (C.8) 或者公式 (C.9)。

$$E_7 = \sum_{i=1}^n (MIR_i \times M_i) \dots\dots\dots (C.8)$$

式中：

E_7 ——光化学臭氧生成潜势，单位为千克 (kg)；

M_i ——污染物*i*的排放量，单位为千克 (kg)；

MIR_i ——最大增量反应活性，单位为吨臭氧/吨溶剂 (tO₃/t污染物)；

n ——污染物数量，单位为个。

$$E_8 = \sum_{i=1}^n (POCP_i \times M_i) \dots\dots\dots (C.9)$$

式中：

E_8 ——光化学臭氧生成潜势，单位为千克 (kg)；

M_i ——污染物*i*的排放量，单位为千克 (kg)；

$POCP_i$ ——光化学臭氧生成潜势 (乙烯当量)，单位为千克 (kg)；

n ——污染物数量，单位为个。

C.2.7.2 污染物的臭氧生成潜势参照附录 B.2 选择。

C.2.8 光化学颗粒物生成潜势

C.2.8.1 光化学颗粒物生成潜势用来表征化学物质对臭氧生成的贡献，以颗粒物生成量来表征。具体计算公式见 (C.10)。

$$E_8 = \sum_{i=1}^n (FAC_i \times M_i) \dots\dots\dots (C.10)$$

式中：

E_9 ——光化学颗粒物生成潜势，单位为千克（kg）；

M_1 ——污染物*i*的排放量，单位为千克（kg）；

FAC_i ——颗粒物生成系数，单位为吨颗粒物/吨溶剂（tPM/t污染物）；

n ——污染物数量，单位为个。

C. 2. 8. 2 污染物的光化学颗粒物生成潜势参照附录 D. 7 选择。缺失数据按照以下规则选取：芳香烃对 PM2.5 的贡献系数为 0.23，烯烃对 PM2.5 的贡献系数为 0.05，烷烃对 PM2.5 的贡献系数为 0.02。

C. 3 电力消耗的二次污染因子

C. 3. 1. 1 电力消耗的排放因子根据当地的能源结构进行核算。

C. 3. 1. 2 地方缺乏专门的电力消耗的污染物排放因子，则可以参见附录 D. 8。

附 录 D
(资料性)
综合效益评价因子的参数值

D.1 人体健康毒性因子

表D.1给出了人体健康毒性因子的参考值。

表D.1 人体健康毒性因子参考值

序号	污染物	人体健康毒性因子	序号	污染物	人体健康毒性因子
1	1,1,1-三氯乙烷	11000	30	1,3-丁二烯	110
2	1,2,4-三氯苯	38	31	1,2-丁烷	6000
3	1,2-二氯苯	610	32	丁烷	24000
4	1,2-二氯乙烷	200	33	乙酸丁酯	960
5	1,4-二氯苯	3000	34	镉及其化合物	0.15
6	1,4-二氧杂环乙烷	730	35	二硫化碳	300
7	二乙二醇	440	36	一氧化碳	350
8	2-氨基乙醇	51	37	四氯化碳	640
9	2-丁氧基乙醇	980	38	氯	15
10	2-乙氧基乙醇	190	39	氯苯	470
11	乙酸乙氧乙酯	270	40	甲基氯	1000
12	二甲醚	160	41	六价铬	0.50
13	2-甲氧基乙酸	250	42	钴及其化合物	1.0
14	乙醛	910	43	铜粉尘和烟雾	10
15	丙酮	12000	44	甲酚(所有同分异构体)	220
16	乙腈	340	45	异丙苯	2500
17	丙烯醛	2.5	46	环己烷	7000
18	丙烯酰胺	0.3	47	环己酮	800
19	丙烯腈	70	48	二氯甲烷	3500
20	氨	350	49	硫酸二甲酯	1
21	苯胺	77	50	二甲基苯胺	250
22	氨基苯甲醚	5.1	51	二甲胺	37
23	铋及其化合物	5.0	52	N,N-二甲基甲酰胺	300
24	砷及其化合物	1.0	53	乙醇	9600
25	苯	32.5	54	乙酸乙酯	15000
26	苯并[a]芘	0.05	55	丙烯酸乙酯	210
27	邻苯二甲酸苄丁酯	30	56	乙胺	94
28	铍及其化合物	0.02	57	乙苯	4400
29	二(2-乙基己基)酯)	100	58	氟化物	25

表D.1 人体健康毒性因子参考值（续）

序号	污染物	人体健康毒性因子	序号	污染物	人体健康毒性因子
59	甲醛	6.2	76	臭氧	2
60	联氨	1.3	77	苯酚	190
61	氯化氢	80	78	光气	0.82
62	硫化氢	140	79	异丙醇	5000
63	铅	5	80	嘧啶	160
64	锰及其化合物	0.10	81	氢氧化钠	20
65	丙烯酸甲酯	180	82	二氧化硫	13
66	甲醇	2700	83	四氯乙烯	3450
67	乙酸甲酯	6100	84	无机锡化合物	20
68	甲基丙烯酸甲酯	2100	85	甲苯	1900
69	萘	500	86	三氯乙烯	2700
70	正己烷	1800	87	三甲苯	1000
71	镍及其化合物	0.50	88	钒	5
72	硝基苯	50	89	乙酸乙烯酯	360
73	二氧化氮	95	90	氯乙烯	50
74	一氧化二氮	300	91	二甲苯	4400
75	N, N-二甲苯胺	250	92	氧化锌	50

D.2 全球变暖潜势因子

表D.2给出了典型污染物的全球变暖直接潜势因子。

表D.2 全球变暖直接潜势因子

单位为千克二氧化碳当量每千克污染物排放量

序号	污染物	全球变暖潜势	序号	污染物	全球变暖潜势
1	二氧化碳	1	12	HCFC-123	120
2	甲烷	23	13	HCFC-124	620
3	一氧化二氮	296	14	HCFC-141b	700
	氟氯碳		15	HCFC-142b	2400
4	CFC-11	4600	16	HCFC-225ca	180
5	CFC-12	10600	17	HCFC-225cb	620
6	CFC-13	14000		氟烷	
7	CFC-113	6000	18	HFC-23	12000
8	CFC-114	9800	19	HFC-32	550
9	CFC-115	7200	20	HFC-41	97
	氯氟烃		21	HFC-125	3400
10	HCFC-21	210	22	HFC-134	1100
11	HCFC-22	1700	23	HFC-134a	1300

表D.2 全球变暖直接潜势因子（续）

单位为千克二氧化碳当量每千克污染物排放量

序号	污染物	全球变暖潜势	序号	污染物	全球变暖潜势
24	HFC-143	330	55	HFE-125	14900
25	HFC-143a	4300	56	HFE-134	6100
26	HFC-152	43	57	HFE-143a	750
27	HFC-152a	120	58	HCFE-235da2	340
28	HFC-161	12	59	HFE-245cb2	580
29	HFC-227ea	3500	60	HFE-245fa2	570
30	HFC-236cb	1300	61	HFE-254cb2	30
31	HFC-236ea	1200	62	HFE-347mcc3	480
32	HFC-236fa	9400	63	HFE-356pcf3	430
33	HFC-245ca	640	64	HFE-374pc2	540
34	HFC-245fa	950	65	HFE-7100	390
35	HFC-365mfc	890	66	HFE-7200	55
36	HFC-43-10mee	1500	67	H-Galden 1040x	1800
	氯碳化合物		68	HG-10	2700
37	CH ₃ CCl ₃	140	69	HG-01	1500
38	CCl ₄	1800	70	NF ₃	10800
39	CHCl ₃	30	71	SF ₆ CF ₃	>17500
40	CH ₂ Cl	16	72	c-C ₃ F ₆	>16800
41	CH ₂ Cl ₂	10			
	全氟化合物		73	HFE-227ea	1500
42	SF ₆	22200	74	HFE-236ea2	960
43	CF ₄	5700	75	HFE-236fa	470
44	C ₂ F ₆	11900	76	HFE-245fa1	280
45	C ₃ F ₈	8600	77	HFE-263fb2	11
46	C ₄ F ₁₀	8600	78	HFE-329mcc2	890
47	c-C ₄ F ₈	10000	79	HFE-338mcf2	540
48	C ₅ F ₁₂	8900	80	HFE-347mcf2	360
49	C ₆ F ₁₄	9000	81	HFE-356mec3	98
	醚和卤代醚		82	HFE-356pcc3	110
50	CH ₃ OCH ₃	1	83	HFE-356pcf2	260
51	(CF ₃) ₂ CFOCH ₃	330	84	HFE-356mcf3	11
52	(CF ₃) ₂ CH ₂ OH	57	85	(CF ₃) ₂ CHOCHF ₂	370
53	CF ₃ CF ₂ CH ₂ OH	40	86	(CF ₃) ₂ CHOCH ₃	26
54	(CF ₃) ₂ CHOH	190	87	-(CF ₂) ₄ CH(OH)-	70

D.3 生物毒性潜势因子

表D. 3给出了典型污染物的生物毒性潜势因子。

表D. 3 典型污染物的预期无影响浓度

单位为毫克每升

序号	CAS	物质	PNEC	序号	CAS	物质	PNEC
1	71-55-6	1, 1, 1-三氯乙烷	2. 1	21	75-09-2	二氯甲烷	20
2	634-66-2	1, 2, 3, 3-四氯苯	0. 023	22	88-85-7	二硝基苯酚	0. 000025
3	634-90-2	1, 2, 3, 5-四氯苯	0. 022	23	74-85-1	乙烯	8. 5
4	87-61-6	1, 2, 3-三氯苯	0. 064	24	50-00-0	甲醛	0. 0021
5	95-94-3	1, 2, 4, 5-四氯苯	0. 026	25	118-74-1	六氯苯	0. 0024
6	120-82-1	1, 2, 4-三氯苯	0. 079	26	108-38-3	间二甲苯	0. 33
7	106-99-0	1, 3-丁二烯	0. 0703	27	74-83-9	甲基溴	0. 011
8	95-50-1	1, 2-二氯苯	0. 27	28	95-47-6	邻二甲苯	0. 4
9	107-06-2	1, 2-二氯乙烷	14	29	106-42-3	对二甲苯	0. 33
10	108-70-3	1, 3, 5-三氯苯	0. 057	30	608-93-5	五氯苯	0. 0075
11	541-73-1	1, 3-二氯苯	0. 21	31	108-95-2	苯酚	0. 0009
12	106-46-7	1, 4-二氯苯	0. 26	32	75-56-9	环氧丙烷	0. 17
13	95-57-8	2-氯酚	0. 03	33	100-42-5	苯乙烯	0. 57
14	95-53-4	二甲基苯胺	0. 23	34	127-18-4	四氯乙烯	0. 33
15	100-44-7	氯甲苯	0. 0013	35	108-88-3	甲苯	0. 73
16	107-02-8	丙烯醛	0. 000007	36	79-01-6	三氯乙烯	2. 4
17	107-13-1	丙烯腈	0. 0076	37	75-01-4	氯乙烯	8. 2
18	7664-41-7	氨水	0. 0016	38	100-41-4	苯乙烷	0. 37
19	71-43-2	苯	2. 4	39	108-44-1	三甲苯胺	0. 0001
20	108-90-7	氯苯	0. 69	40	88-74-4	2-硝基苯胺	0. 019

D. 4 酸雨潜势

表D. 4给出了典型污染物的酸雨潜势因子。

表D. 4 典型污染物的酸雨潜势因子

单位为千克二氧化硫当量每千克污染物排放量

CAS	物质	酸雨潜势
7446-09-5	二氧化硫	1
7664-41-7	氨	1. 6
10102-44-0	氮氧化物	0. 5

D. 5 水体富营养化潜势

表D. 5给出了典型污染物的水体富营养化潜势因子。

表D.5 典型污染物的水体富营养化潜势因子

单位为千克磷酸盐离子当量每千克污染物排放量

序号	CAS	物质	水体富营养化潜势
1	7664-41-7	氨	0.35
2	14798-03-9	铵	0.33
3	14797-55-8	硝酸盐	0.10
4	7697-07-2	硝酸	0.10
5	7727-07-9	氮	0.42
6	10102-44-0	二氧化氮	0.13
7	10102-43-9	一氧化氮	0.20
8	10102-44-0	氮氧化物	0.13
9	7664-38-2	磷酸盐	1.00
10	7664-38-2	磷酸	0.97
11	7723-14-0	磷	3.06
12	1314-56-3	五氧化二磷	1.34

D.6 臭氧损耗潜势

表D.6给出了典型《蒙特利尔协议》中附录A的受控物质的臭氧损耗潜势，其余具体数值见《蒙特利尔协议》的附录B到附录E。

表D.6 典型污染物的臭氧损耗潜势因子

单位为千克CFC-11当量

序号	类别	物质	臭氧损耗潜势
	第I类		
1	CFCl ₃	CFC-11	1.0
2	CF ₂ Cl ₂	CFC-12	1.0
3	C ₂ F ₃ Cl ₃	CFC-113	0.8
4	C ₂ F ₄ Cl ₂	CFC-114	1.0
5	C ₂ F ₅ Cl	CFC-115	0.6
	第II类		
6	CF ₂ BrCl	Halon-1211	3.0
7	CF ₃ Br	Halon-1301	10.0
8	C ₂ F ₄ Br ₂	Halon-2402	6.0

D.7 光化学颗粒物生成潜势

表D.7 给出了污染物的光化学颗粒物生成潜势。

表D.7 典型污染物的光化学颗粒物生成潜势因子

单位为千克颗粒物每千克污染物

序号	污染物	颗粒物生成潜势	序号	污染物	颗粒物生成潜势
1	1-庚烯	0.0104	35	支链十一烷	0.00625
2	C7末端烯烃	0.0052	36	正十二烷	0.0078
3	1-辛烯	0.0055	37	支链十二烷	0.0078
4	C8末端烯烃	0.0055	38	正丁基环己烷	0.0048
5	顺-2-辛烯	0.0128	39	正戊基环己烷	0.006
6	2,4,4 - 三甲基 - 1 - 戊烯	0.03136	40	正己基环己烷	0.0072
7	甲基庚烷	0.0118	41	甲苯	0.00648
8	1 - 壬烯	0.0342	42	邻二甲苯	0.013
9	C9末端烯烃	0.0171	43	间二甲苯	0.0188
10	乙基庚烷	0.0342	44	对二甲苯	0.00448
11	1 - 癸烯	0.0513	45	乙苯	0.0081
12	1-十一烯	0.0684	46	均三甲苯	0.02146
13	C11末端烯烃	0.0342	47	偏三甲苯	0.0116
14	三甲基癸烷	0.0855	48	连三甲苯	0.01836
15	环烯烃	0	49	正丙苯	0.00192
16	环戊烯	0.0376	50	异丙苯	0.0052
17	1 - 甲基环戊烯	0.0475	51	邻乙基甲苯	0.01288
18	3 - 甲基环戊烯	0.0475	52	间乙基甲苯	0.01953
19	环己烯	0.0553	53	对乙基甲苯	0.00525
20	1 - 甲基环己烯	0.08056	54	正丁基苯	0.00468
21	3 - 甲基环己烯	0.01643	55	仲丁基苯	0.00494
22	4 - 甲基环己烯	0.02015	56	叔丁基苯	0.00494
23	正庚烷	0.000084	57	间二乙基苯	0.02961
24	正辛烷	0.000102	58	对二乙基苯	0.02961
25	3 - 甲基庚烷	0.0005	59	邻二乙基苯	0.02961
26	2 - 甲基庚烷	0.0005	60	四甲基苯	0.03654
27	2,4,4 - 三甲基戊烷/异辛烷	0.001168	61	C10三取代苯类化合物	0.02961
28	正壬烷	0.003	62	C11单取代苯类化合物	0.03525
29	3,5,5 - 三甲基己烷	0.00095	63	C11二取代苯类化合物	0.03525
30	2,2,5 - 三甲基己烷	0.00095	64	C11三取代苯类化合物	0.03525
31	2,6 - 二甲基庚烷	0.00104	65	C12二取代苯类化合物	0.03995
32	正癸烷	0.0044	66	C12三取代苯类化合物	0.03995
33	支链癸烷	0.0044	67	2 - 甲基 - 3 - 己酮	0.000312
34	正十一烷	0.00625	68	辛醛	0.001128

表D.7 典型污染物的光化学颗粒物生成潜势因（续）

单位为千克颗粒物每千克污染物

序号	污染物	颗粒物生成潜势	序号	污染物	颗粒物生成潜势
69	庚酮	0.000312	85	正丙基环己烷	0.0036
70	C4 取代环己酮	0.000323	86	二乙基环己烷	0.0048
71	丙基环己酮	0.000323	87	萘	0.0128
72	二丁基醚	0.00169	88	茛满	0.00475
73	2 - 丁基四氢呋喃	0.001235	89	乙基茛满	0.00475
74	2 - 甲基萘	0.034	90	苯酚	0.023
75	正十三烷	0.0098	91	十氢化萘	0.0105
76	正十四烷	0.0112	92	乙基十氢化萘	0.0152
77	正十五烷	0.014	93	β -蒎烯	0.3
78	甲基环戊烷	0.00017	94	香芹薄荷醇	0.105
79	环己烷	0.000238	95	香芹酮	0.105
80	甲基环己烷	0.0054	96	α -蒎烯	0.3
81	乙基环戊烷	0.00324	97	茛	0.1
82	三甲基环己烷	0.00324	98	异胡薄荷酮	0.105
83	二甲基环己烷	0.0027	99	α -萜品烯与 γ -萜品烯	0.3
84	乙基环己烷	0.00324			

D.8 电力消耗的污染物排放系数

表D.8 给出了燃煤电力消耗污染物的排放系数。

表D.8 燃煤电力消耗的污染物的排放系数

单位为千克每吉焦

序号	污染物	排放系数
1	二氧化硫	0.10
2	二氧化氮	0.16
3	二氧化碳	116.71
4	PM _{2.5}	0.058
5	乙烯当量	5.19

参 考 文 献

- [1] GB 16297—1996 大气污染物综合排放标准
 - [2] GB 31572—2015 合成树脂工业污染物排放标准
 - [3] GB 37822—2019 挥发性有机物无组织排放控制标准
 - [4] GB 37824—2019 涂料、油墨及胶粘剂工业大气污染物排放标准
 - [5] GB/T 13553—1996 胶粘剂分类
 - [6] HJ 1103—2020 排污许可证申请与核发技术规范 专用化学产品制造业
 - [7] HJ 1116—2020 排污许可证申请与核发技术规范 涂料、油墨、颜料及其类似产品制造业
 - [8] HJ 1179—2021 涂料油墨工业污染防治可行技术指南
 - [9] 《污染源自动监控管理办法》（国家环境保护总局令第28号）
 - [10] 《环境监测管理办法》（国家环境保护总局令第39号）
 - [11] 生态环境部大气环境司. 涂料、油墨及胶粘剂制造业挥发性有机物治理实用手册. 2020年
 - [12] 生态环境部大气环境司. 挥发性有机治理实用手册, 中国环境出版集团, 2020年
 - [13] DB31/933-2015: 大气污染物综合排放标准
-